



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

Archive ouverte UNIGE

<https://archive-ouverte.unige.ch>

Thèse

2009

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Des méthodes d'évaluation de l'âge d'un être humain

Gabioud, François

How to cite

GABIOUD, François. Des méthodes d'évaluation de l'âge d'un être humain. Doctoral Thesis, 2009. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:4663

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:4663>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:4663](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:4663)

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

FACULTÉ DE MÉDECINE
Département de Santé &
Médecine communautaire
Institut Universitaire de Médecine Légale

Thèse préparée sous la direction du Docteur Romano LA HARPE, CC

DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN

Thèse

présentée à la Faculté de Médecine
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de Docteur en médecine

par

François GABIOUD

de

Orsières (Valais)

Thèse n° 10599

Genève
Imprimerie du Moléson
2009



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

FACULTÉ DE MÉDECINE

DOCTORAT EN MEDECINE

Thèse de :

Monsieur François GABIOUD

originaire d'Orsières (VS)

Intitulée :

DES METHODES D'EVALUATION DE L'AGE D'UN ETRE HUMAIN

La Faculté de médecine, sur les préavis de Monsieur Patrice MANGIN, professeur ordinaire au Département de santé et médecine communautaires, et de Monsieur Romano LA HARPE, chargé de cours au Département de santé et médecine communautaires, autorise l'impression de la présente thèse, sans prétendre par là émettre d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 1^{er} octobre 2009

Thèse n° **10599**

Jean-Louis Carpentier
Doyen

N.B. - La thèse doit porter la déclaration précédente et remplir les conditions énumérées dans les "Informations relatives à la présentation des thèses de doctorat à l'Université de Genève".

DÉDICACES

Je dédie cette thèse aux personnes, en général, qui partagent avec moi, bien que le plus souvent de façon cachée, un sens particulier quant à notre présence sur cette terre. En particulier, je pense à :

Emile Grand (†), Rosa Pierina Gasparini (†), Robert Cavézian, Isabelle Lamm, Alain Riri Deshusses, Sabrina Jacot-Descombes, Jacqueline Apel, Dimitrios Apostolakis, Nivea & Giulio Felice, Katarina Korkodelovic, Lauriane & Shanti Jacot-Descombes... et à mes trois petits coquins, Lara, Mathilde et Emile !

REMERCIEMENTS

Ils iront à ma famille, à mes amis, et à mes camarades musiciens de zeWOOps et de 3dB, car ce travail m'en a tenu isolé pendant trop longtemps.

Un remerciement tout spécial ira à Fabienne Gabioud, ma femme, sans laquelle l'ensemble de mes activités ne pourrait se réaliser et à Bernard Gabioud, mon père, qui inlassablement essaime le germe de la curiosité.

RÉSUMÉ

Connaître l'âge d'un individu est important dans les pays organisés en règles sociales discriminantes comme l'âge de la majorité.

Estimer l'âge d'un sujet décédé peut s'inscrire dans un cadre historique (anthropologie) ou lors d'un processus d'identification.

Les os et les dents étant le moins soumis aux influences externes et internes, et les plus stables dans le temps, de nombreuses méthodes ont été élaborées pour établir l'âge osseux et/ou dentaire d'une personne.

Malheureusement ces âges (âges biologiques) peuvent ne correspondre ni entre eux ni à l'âge chronologique (âge civil). Ce dernier doit donc aussi être recherché au moyen d'autres critères comme : la morphologie (stature, ...), la maturation sexuelle, l'état clinique bucco-dentaire.

Le présent travail vise à parcourir l'éventail des nombreuses méthodes et techniques employées ou en projet afin de pouvoir estimer celles qui donnent les résultats les plus fiables en fonction du degré de précision requis par les objectifs recherchés.

1	INTRODUCTION	1
2	DES RAISONS DE CONNAÎTRE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN	2
	<i>Références:</i> 2, 6, 8, 10, 12, 20, 25, 27, 28, 31, 33, 47, 48, 50, 52, 54, 57, 61, 63, 72, 75, 77, 85, 87, 88, 95, 108, 109, 111, 116, 118 à 121, 130, 137, 138, 142, 146, 148, 153, 155, 158, 161, 163, 165, 167, 168, 170, 172, 174, 175, 178 à 181, 184, 187, 189, 193, 197, 199, 203, 205, 211, 218, 223, 225, 227, 228, 230, 233, 235, 236, 239, 245, 246, 248, 249, 253, 262 à 265, 267, 268, 270, 273	
3	DES RAISONS DE L'UTILISATION DES OS ET DES DENTS COMME TÉMOINS DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN	5
	<i>Références:</i> 5, 13, 31, 46, 54, 61, 63, 64, 66, 84, 85, 106, 112 à 114, 123, 155, 157, 158, 168, 174, 188, 194, 199, 211, 225, 226, 245, 246, 270	
4	DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN À PARTIR DE SES OS	13
	<i>Références:</i> 4, 10, 15, 16, 19, 21, 22, 30, 35, 36, 39, 40, 44, 45, 60, 62, 68, 71, 73, 75, 78, 80, 82, 88, 89, 95 à 97, 99 à 101, 103 à 106, 111, 112, 124, 129, 134, 145 à 147, 151, 152, 157, 162, 166, 169, 195, 198, 207 à 210, 216 à 218, 220, 222, 223, 247, 251, 257, 259, 272	
5	DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN À PARTIR DE SES DENTS	58
	<i>Références:</i> 3, 6, 19, 28, 31, 33, 34, 43, 48, 52, 54, 56 à 58, 61, 65, 66, 69, 72, 77, 83, 85, 87, 90, 108, 109, 115, 116, 118 à 122, 125 à 127, 132, 134, 136, 137, 139, 141, 144, 150, 153, 156, 158, 161, 163 à 165, 167, 168, 171, 172, 174 à 176, 179 à 181, 183, 184, 186, 191, 192, 196, 202 à 205, 211, 227, 230 à 232, 234, 235, 242, 243, 248, 263 à 265, 267 à 270, 273	
6	DES LIAISONS ENTRE ÂGES OSSEUX, DENTAIRE ET CIVIL	99
	<i>Références:</i> 23, 32, 44, 46, 49, 55, 67, 92, 110, 114, 127, 133, 134, 152, 204, 229	
7	DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE APPLICABLES AU SUJET VIVANT	103
	<i>Références:</i> 7, 26, 44, 70, 74, 81, 112, 173, 182, 212 à 214, 247, 261	
8	DES LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE	112
	<i>Références:</i> 1, 2, 4, 9 à 12, 17 à 21, 24, 25, 27, 29, 30, 38, 41, 50, 51, 60, 62, 76, 78, 79, 82, 86, 93, 94, 96, 98, 102, 104, 106, 107, 117, 118, 129, 131, 135, 138, 140, 143, 148, 155, 157, 160, 163, 178, 185, 193, 197, 199, 200, 218, 224, 231, 236, 237, 244, 250 à 252, 256, 260, 262, 263, 271, 274	
9	DES PERSPECTIVES RELATIVES A L'ÉVALUATION DE L'ÂGE	131
	<i>Références:</i> 28, 37, 39, 43, 50, 53, 59, 80, 117, 118, 128, 131, 146, 149, 154, 159, 177, 189, 190, 199, 206, 213, 218, 219, 221, 223, 233, 241, 255, 256, 263	
10	CONCLUSION	143
	<i>Références:</i> 19, 47, 91, 170, 187, 201, 233, 239, 245, 246, 254, Annexe 1 à 3	
11	GLOSSAIRE – ABRÉVIATIONS – ANNEXES <i>Références:</i> 42, 91, 201	148
12	BIBLIOGRAPHIE	159
	<i>Références:</i> 1 à 274	
13	TABLE DES MATIÈRES	178

1 INTRODUCTION

Il existe de nombreuses raisons (chap. 2 du présent travail) pour tenter de cerner l'âge chronologique d'un individu au moyen de marqueurs biologiques. Ces derniers dépendent de divers tissus humains, dont les plus étudiés sont les plus résistants comme les os et les dents (chap. 3). L'évaluation de l'âge osseux (chap. 4) et de l'âge dentaire (chap. 5) se fait essentiellement selon deux modes : la maturation*, qui implique une observation durant la phase de croissance, et les changements régressifs* liés aux altérations dues au temps, généralement après la croissance. L'idéal pour une évaluation correcte serait que ces âges soient identiques entre eux et correspondent à l'âge chronologique, parfois appelé "âge civil", mais ce n'est très souvent pas le cas (chap. 6). Enfin, toutes les techniques (répertoriées aux chap. 4 & 5) ne s'appliquent pas forcément aux sujets vivants (chap. 7), pour d'évidentes raisons éthiques*. De plus, certaines méthodes semblent plus adéquates et précises que d'autres qui montrent diverses limites (chap.8). Cependant, de potentielles améliorations à différents niveaux (technique, statistique, ...) pourraient permettre d'accroître l'applicabilité, la précision ou l'acceptation éthique de certaines de ces méthodes (chap. 9). Toutefois, à ce jour, aucune technique d'évaluation de l'âge, qu'il soit osseux ou dentaire, n'est d'un point de vue scientifique suffisante pour déterminer* l'âge chronologique d'un sujet. Au mieux, c'est un ensemble de techniques d'évaluation des âges osseux et dentaire (en combinaison avec d'autre critères biologico-physiques, particulièrement pour le sujet vivant, chap. 7) qui pourra l'estimer, avec un degré de confiance suffisant (chap. 10).

Tout au long de ce travail, les mots marqués d'un astérisque [] et les abréviations seront définis au chapitre 11. Un schéma illustrant la numérotation des dents selon la nomenclature de la Fédération Dentaire Internationale (Annexe 1), pour laquelle la dent de sagesse (DDS) maxillaire droite est nommée "18", par exemple, s'y trouve également.

2 DES RAISONS DE CONNAÎTRE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN

2.1 EN MÉDECINE HUMAINE

D'une manière générale, prendre en compte l'âge d'un patient peut être déterminant en médecine pour établir un diagnostic et/ou un plan de traitement pédiatrique ^(57,109, 174, 205).

En effet, comme le rapportent RAHIMY ET COLL. ⁽¹⁹⁷⁾, comparer l'âge osseux à l'âge chronologique peut permettre de suspecter, pendant la croissance de l'enfant, une hypersécrétion androgénique* responsable d'une avance staturale* (âge osseux > âge chronologique) et donc de la corriger, afin d'éviter une fermeture précoce des cartilages de conjugaison, situation responsable d'une petite taille définitive. Dans le cas contraire, 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).

D'autres auteurs ^(130, 138, 223), BERST ET COLL. ⁽²⁰⁾ relèvent l'importance de la connaissance relativement précise de l'âge osseux d'un sujet d'un point de vue thérapeutique tant médical (évaluation de la durée d'un traitement hormonal par GH) que chirurgical (en orthopédie : moment d'intervention de correction d'une trop grande différence de longueur des membres inférieurs, correction d'une scoliose).

2.2 EN MÉDECINE DENTAIRE

Connaître le potentiel de croissance d'un jeune individu est considéré comme primordial tant en orthopédie et chirurgie dento-maxillo-faciale ^(27, 28), qu'en orthodontie ^(48, 54, 57, 72, 174, 175, 184), en pédodontie et en dentisterie ^(28, 38, 52, 54, 125, 137, 148, 175). En effet, pour l'orthodontie, le potentiel de croissance est une variable cruciale qui modifie le plan de traitement ⁽⁸⁸⁾. Par exemple dans la correction des encombrements dentaires ou de malocclusions, le traitement sera non-chirurgical (avec appareillage d'expansion, de traction extra-orale) en cas de croissance encore présente ou chirurgical (avec extraction dentaire) lorsque la croissance est terminée ⁽⁷⁵⁾. D'autre part, la durée d'un traitement non-chirurgical sera plus courte lors de la période du pic de croissance* ⁽⁹⁹⁾ et en conséquence, c'est l'état de

maturation osseuse, parfois nommé âge biologique, qu'il importe de connaître dans ce cas plutôt que l'âge chronologique de l'individu ^(75, 88).

2.3 EN MÉDECINE LÉGALE

L'âge d'une personne vivante est primordial en raison de l'application de législations particulières. Celles-ci peuvent concerner l'âge minimum de : responsabilité criminelle (qui varie d'un pays à l'autre) ^(6, 61, 116, 118, 158, 161, 170, 178, 180, 203, 227, 248, 262, 264 265, 270, 273); scolarisation ^(50, 116, 227, 248, 262, 273), mariage ^(2, 227, 262); emploi ^(6, 262); conditions d'accès, comme pour le permis de conduire ou le droit de vote ^(12, 120, 262, 270, 273). Dans de telles sociétés, il est normalement possible de connaître l'âge d'un individu au moyen de registres d'état civil. Ceux-ci existent en France depuis le moyen âge à travers l'inscription aux registres paroissiaux (baptêmes, mariage, décès) rendue obligatoire par décret de François Ier ⁽⁸⁾. A Genève le Code de 1791 instaure la tenue d'un double de l'extrait de naissance à la Chancellerie "*pour remédier aux erreurs de plus d'un genre qui se glifffent fréquemment dans les baptiftères...*" ⁽²⁴⁹⁾. Néanmoins, en l'absence de tels registres, et encore plus d'offices d'Etat Civil, l'âge dentaire a pu être utilisé comme pour fixer le moment de l'enrôlement au service militaire dans la Rome antique (après éruption* complète des 2^{ème} molaires permanentes, soit environ 12 ans), ou plus récemment, le genre d'emploi selon la pénibilité du travail en Grande-Bretagne au 19^{ème} siècle : interdiction de travail dans les mines de charbon pour un enfant de moins de 9 ans et pas plus de 9 heures par jour entre 9 et 13 ans ⁽²⁶⁵⁾. Toujours à la même époque et en Grande-Bretagne, la responsabilité légale d'un enfant de moins de 7 ans, âge alors établi par l'absence des 1^{ère} molaires permanentes en bouche, ne pouvait être engagée quel qu'ait été le crime commis ⁽¹⁷²⁾.

Dans la Communauté Européenne, la connaissance de l'âge civil a pris de l'importance au vu de l'immigration croissante provenant de l'extérieur de "l'espace Schengen" ⁽²¹⁸⁾. Et ceci particulièrement lorsque les étrangers, éventuellement requérants d'asile ou immigrés clandestins, ne possèdent pas de documents d'identification valables ^(2, 12, 50, 52, 61, 116, 120, 153, 161, 163, 167, 174, 175, 179, 180, 181, 184, 227, 230, 233, 235, 236, 248, 263, 264). Une telle situation, d'après ATTALLAH & MARSHALL ⁽¹⁰⁾ peut provenir de l'absence de registre, par exemple, dans plusieurs régions d'Afrique ou d'Asie où règne un certain degré d'analphabétisme. Or en cas de suspicion d'implication dans une activité criminelle, les lois s'appliquant aux sujets mineurs

sont différentes de celles pour les sujets adultes ^(111, 218). Un autre exemple est celui de l'âge autorisé des relations sexuelles et de la consommation d'alcool non distillé fixé en Suisse, actuellement, à 16 ans révolus. La loi pénale concernant les mineurs s'applique jusqu'à 18 ans révolus. Selon les types de délit et de pays, les âges de responsabilité criminelle varient : 14, 16, 18 et 21 ans en Allemagne ^(179, 180, 181) et 14-18 ans ou 18-21 ans en Espagne ⁽¹⁵³⁾. En définitive, LYNNERUP ET COLL. ⁽¹⁴⁶⁾ relèvent que c'est sur demande de la police ou de la justice que le médecin légiste est consulté pour son expertise relative à l'évaluation de l'âge.

Dans certaines situations, il est aussi du ressort de la médecine légale d'étudier l'âge d'un sujet décédé. Connaître l'âge de restes humains peut alors permettre, en plus d'autres critères d'identification, de plus rapidement assigner ces restes à une victime d'un accident, d'un meurtre, d'une guerre ou d'une catastrophe naturelle ^(2, 6, 25, 28, 31, 33, 47, 54, 57, 61, 77, 85, 87, 108, 119, 121, 137, 142, 148, 155, 161, 165, 168, 187, 189, 193, 199, 211, 225, 235, 236, 239, 245, 246, 253, 262, 263, 264, 268, 273). A ce propos DORION ⁽⁶³⁾ évoque l'importance d'une identification positive, dont la première difficulté est de déterminer* si le squelette est récent ou provient de siècles passés et qui implique notamment : la caractérisation de l'état de veuf/ve, toute la problématique des héritages, des impôts (et droits de succession), de fin de contrats (assurances diverses) et finalement de l'établissement du certificat de décès.

2.4 EN ARCHÉOLOGIE-ANTHROPOLOGIE

L'archéologie peut aussi avoir recours à l'évaluation de l'âge au décès de squelettes de populations anciennes, par exemple dans le cadre de la paléo-démographie* ^(28, 33, 52, 54, 77, 119, 120, 137, 142, 148, 155, 168, 211, 236, 253, 263, 267).

On peut citer la recherche de SMITH ⁽²²⁸⁾ qui vise à caractériser l'âge au décès d'un individu fossile datant de 1,5 million d'années! Ici, la difficulté provient de la comparaison de l'aspect anatomo-morphologique squeletto-dentaire d'un individu ancien avec celui (moyen) d'échantillons de population du 20^{ème} siècle (TANNER-WHITEHOUSE pour l'os et DEMIRJIAN ET COLL. pour les dents). Comme cette auteure a constaté une trop grande discordance entre l'âge osseux et l'âge dentaire (2 ans d'avance du premier sur le second) pour la période de l'adolescence dans lequel se trouvait être (supposition de nombreux scientifiques ayant examiné ce squelette) cet individu à son décès, la question se pose de savoir si le schéma global de croissance était différent (et comment) pour l'être humain préhistorique par rapport à la maturation humaine moderne.

3 DES RAISONS DE L'UTILISATION DES OS ET DES DENTS COMME TÉMOINS DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN

Au cours des différentes étapes du développement normal (Tab. 1), l'individu, de par la différenciation et la croissance tissulaire, atteint progressivement de nouvelles étapes, regroupées sous le terme générique de "maturation*".

STADE	PERIODE	AGE
PRENATAL	Oeuf	1 ^{ère} semaine
	Embryogenèse	2 ^{ème} à 7 ^{ème} semaine
	Foetale	8 ^{ème} à 40 ^{ème} semaine
POSTNATAL	Infantile – <i>néonatale</i> – <i>bas âge</i>	4 ^{premières} semaines après naissance 2 à 12 mois
	Juvenile – <i>petite enfance (préscolaire)</i> – <i>enfance (pré-pubertaire)</i>	1 à 6 ans 6 à 10 ans
	Adolescence	10,5 à 17 ans c/o filles 11,5 à 19 ans c/o garçons
	Puberté	12,5 ans c/o filles (11 à 14-15 ans) 14 ans c/o garçons (12-15-16 ans)
	Adulte	A partir du moment où la croissance staturale < 0,5 cm par 2 ans

Cependant, cette maturation, qui correspond à l'âge biologique (ou état du développement), n'est pas toujours corrélée à l'âge chronologique ⁽¹⁸⁸⁾. Néanmoins, les os et les dents, du fait de leur fort taux de minéralisation, et donc de leur dureté, sont les tissus les plus résistants du corps humain, raison pour laquelle ils peuvent constituer de bons témoins de l'état de développement ou de dégénérescence d'un individu vivant ou décédé.

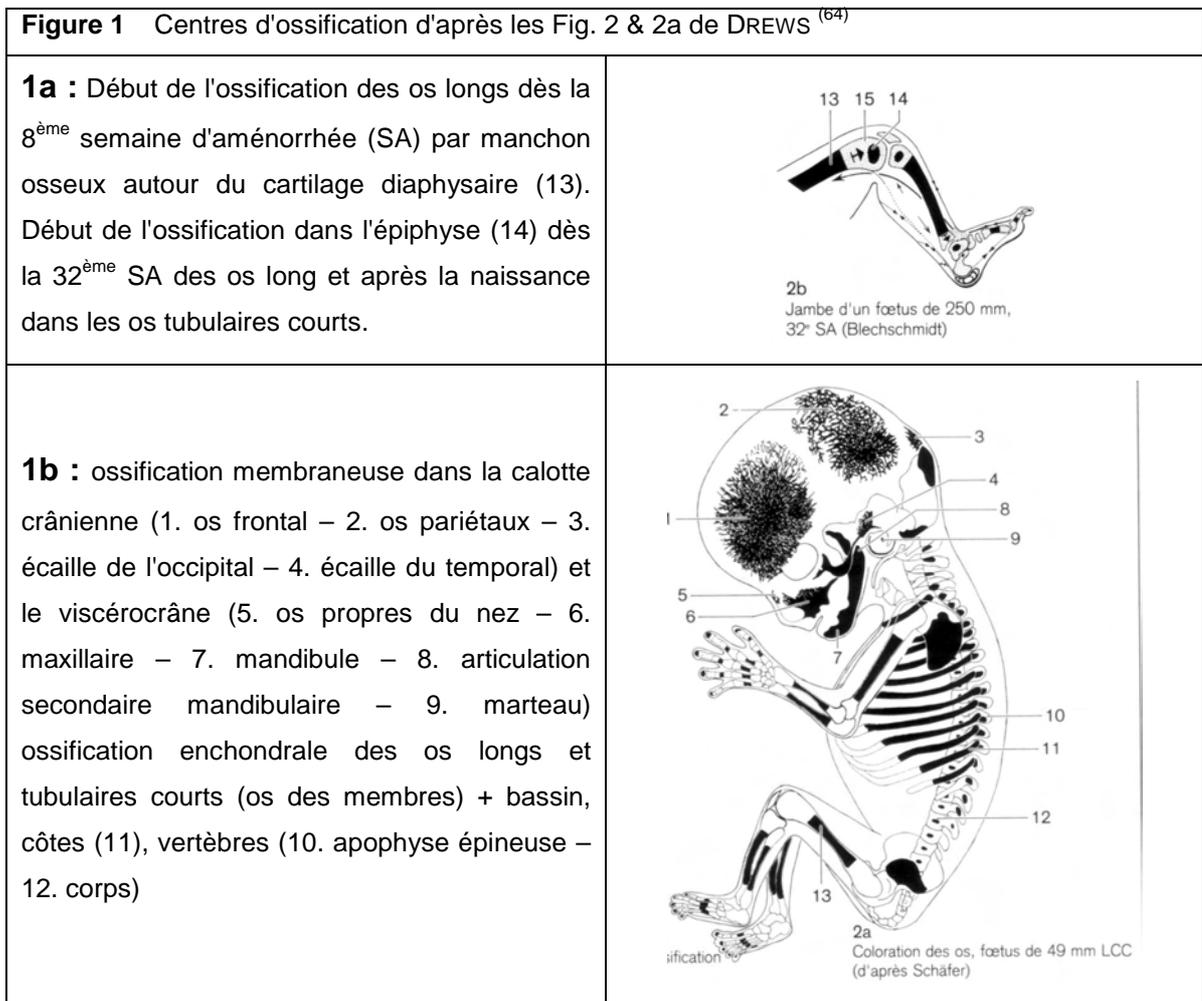
3.1 À PROPOS DES OS

Macroscopiquement l'os est organisé en os compact lamellaire en surface (la corticale osseuse) et en os spongieux fait d'un réseau de fines travées osseuses d'os compact qui englobe, en fonction de l'âge et de la localisation, de la moelle hématopoïétique ou de la graisse (os trabéculaire).

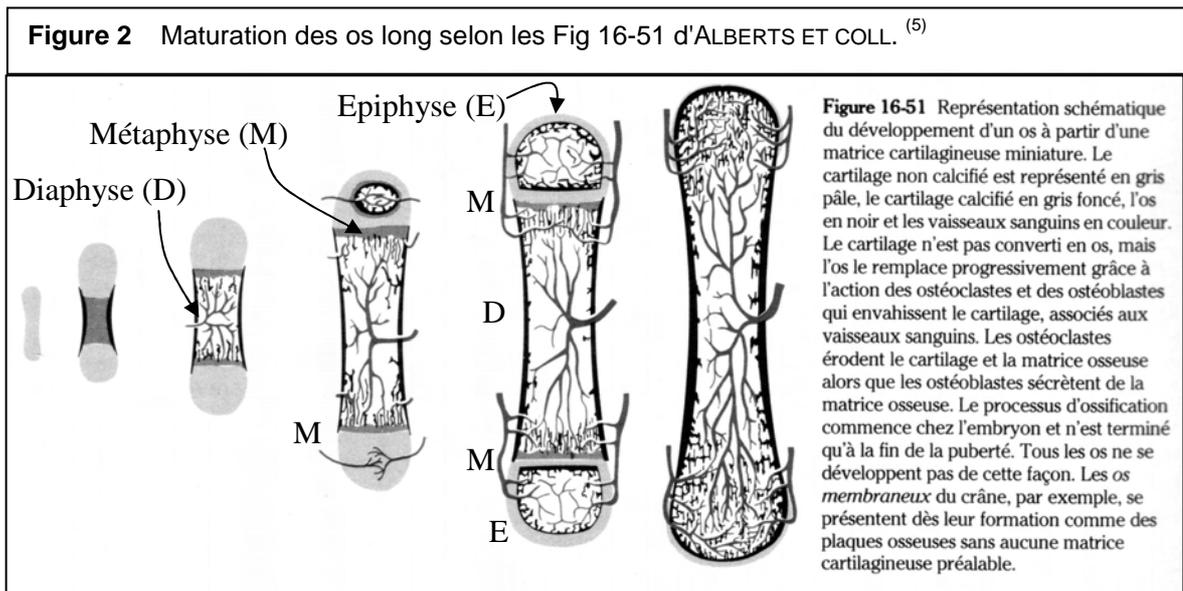
Histologiquement l'essentiel du tissu osseux est formé d'une matrice de collagène (dont les fibres, orientées selon des lignes de forces, procurent la rigidité) et de substance fondamentale, en moins grande quantité (protéoglycans, chondroïtine-

sulfate, acide hyaluronique, mucoprotéines et liquide extracellulaire), le tout entouré de substances minérales, pour partie sous forme de cristaux d'hydroxyapatite (sels alcalins de calcium, phosphates), le reste (carbonate, magnésium, potassium, sodium, fluor) étant adsorbé à la surface des cristaux ^(5, 84, 226). La densité des cristaux d'hydroxyapatite constitue la minéralisation de l'os vivant et se situe entre 50% et 70% ⁽⁸⁴⁾. C'est cette densité de cristaux (et donc d'atomes) qui absorbe partiellement ou complètement l'énergie des rayons X (contrairement aux tissus mous, comme le cartilage, qui ne comportent pas ces cristaux, qui sont donc peu denses et se laissent traverser par les rayons X) empêchant ces rayons d'interagir avec le support d'image (écran à mémoire radioluminescent*, capteur CCD ou CMOS, écran TFT au silicone amorphe, film argentique). Ainsi se réalise une différence de transmission rendue visible (ce qui représente le principe de base de la radiologie: l'os apparaît en blanc alors que le cartilage et les tissus mous figurent en noir sur l'image). Comme les autres tissus du corps humain, l'os est en constant remaniement mais avec un taux de renouvellement beaucoup plus lent. Ce renouvellement résulte d'un équilibre entre l'activité des cellules osseuses qui résorbent l'os (les ostéoclastes) et des cellules qui produisent la matrice osseuse (les ostéoblastes) ainsi que d'une vascularisation nourricière (entre autre apport de minéraux : calcium, phosphates, fluor, ...) adéquate ⁽⁵⁾. La synthèse osseuse et sa régulation dépendent d'un système d'homéostasie complexe faisant intervenir de nombreux facteurs : hormonaux (oestrogène, insuline, glucocorticoïdes, parathormone, précurseurs de la vitamine D et rayonnement lumineux UV), biochimiques (calcémie, phosphatémie, rôle des enzymes plasmatique, de la fonction rénale et de l'alimentation)⁽²²⁵⁾, stimulation mécanique (exercice physique, sédentarité) ⁽²²⁶⁾. Pour certains auteurs, comme MENSFORTH & LOVEJOY ⁽¹⁵⁷⁾ le taux de minéralisation osseuse (en anglais : Bone Mineral Density, BMD) devrait pouvoir être utilisé comme marqueur de l'âge osseux.

La croissance des os longs (Fig. 1) s'effectue par apposition d'os sur une matrice cartilagineuse (millimétrique chez l'embryon et jusqu'à 0,5 mètre pour un fémur de taille adulte) qui elle-même grandit mais qui est peu à peu remplacée par de l'os et cela tant aux 2 extrémités (les épiphyses) qu'au niveau de la partie centrale (la diaphyse)(Fig. 1a) ⁽⁶⁴⁾.



Finalement ces trois parties se soudent en laissant d'abord entrevoir la zone (métaphysaire) de fusion qui, avec le temps, finit par disparaître (Fig. 2) ⁽⁵⁾.



Tous les os longs ou à croissance cartilagineuse ne montrent pas leur maturation de manière parfaitement synchrone (les différents degrés de minéralisation vont

de l'absence de minéralisation = non visibilité radiographique= immaturité à la fusion complète = visibilité complète sans zone cartilagineuse ni ligne blanche de fusion= maturité atteinte). Ainsi pour l'orthodontie, où il est important de situer le sujet par rapport à son pic de croissance* ^(46, 112), il est possible d'évaluer le potentiel de croissance (plus ou moins résiduel) mandibulaire en fonction de la maturation plus avancée des vertèbres cervicales ⁽¹³⁾. Néanmoins le schéma de croissance est globalement le même pour tous les individus (quelle que soit leur origine génétique ou "ethnique") et c'est pourquoi l'os est considéré comme étant un bon marqueur biologique.

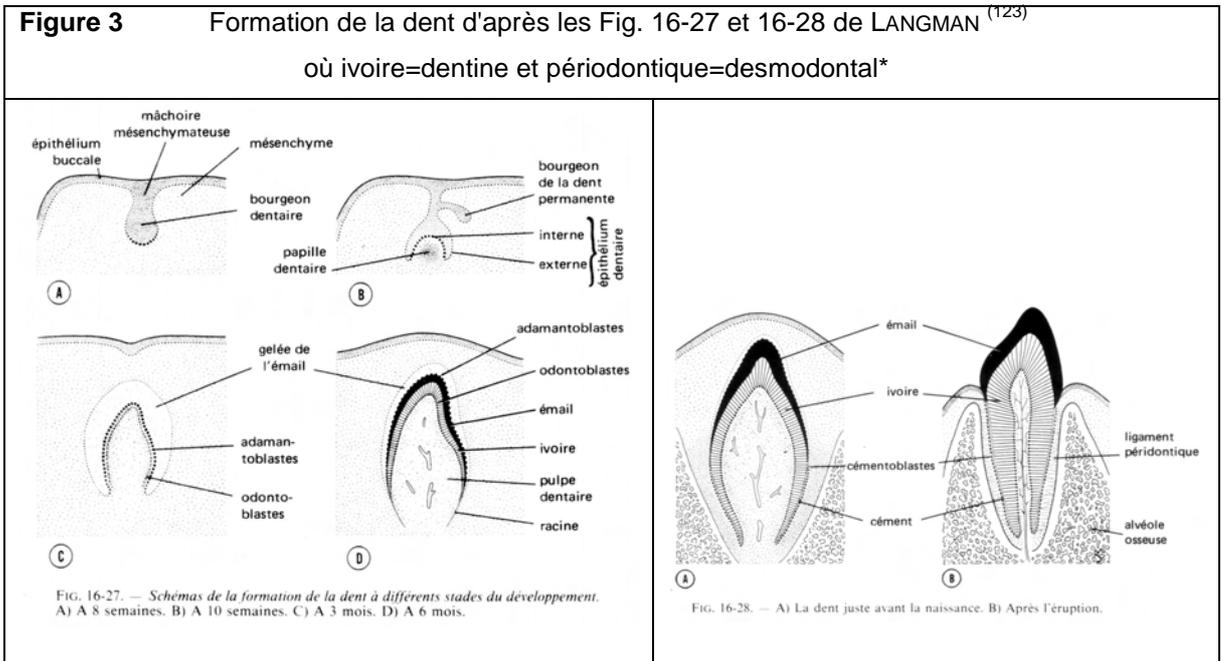
En conséquence, du fait de sa solidité, l'os est un bon témoin, également post mortem, de l'âge d'un sujet, mais comme il est potentiellement sensible à des facteurs internes (hormonaux, régulation du taux plasmatique de calcium et de phosphate), aux pathologies qui y sont liées (troubles endocriniens, rénaux, ...) et à des facteurs externes (alimentation, activité physique), il peut ne pas y avoir une bonne corrélation* avec l'âge chronologique (âge civil) d'un sujet ^(54, 61, 66, 114, 174, 211).

Enfin, KOBLYANSKI ET COLL. ⁽¹⁰⁶⁾ relèvent que l'os est aisément observable sur des radiographies qui permettent d'évaluer l'âge (biologique) osseux en révélant des indices quantitatifs (ostéométrie : épaisseur corticale, densité trabéculaire, minéralométrie) ou qualitatifs (ostéographie : apparition des centres d'ossification lors de la maturation osseuse, changements régressifs* comme l'apparition d'ostéophytes, de nodosités* d'Heberden* ou de Bouchard*, ...).

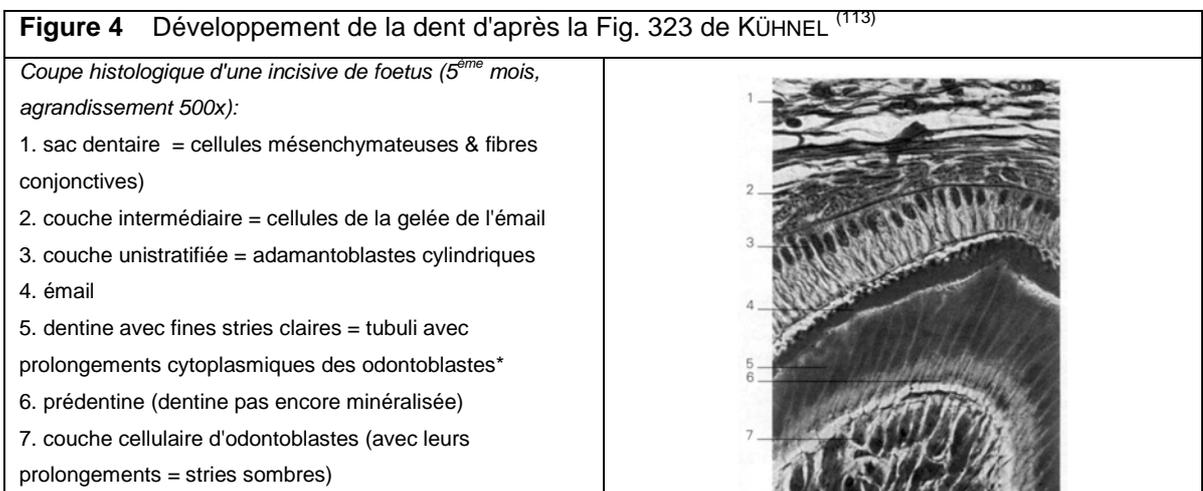
3.2 À PROPOS DES DENTS

Les dents sont aussi constituées de cristaux d'hydroxyapatite mais avec un taux de minéralisation supérieur. La structure la plus externe de la dent est l'émail qui montre une densité de minéralisation proche de 95 à 98% avec des cristaux de plus petite taille que ceux de la dentine ou de l'os, et mieux ordonnés. L'émail est l'interface entre le milieu externe (la cavité buccale) et la structure qui le soutient : la dentine. L'émail, une fois minéralisé n'est plus remodelé autrement que par des facteurs externes qui surviennent durant la vie de l'individu : attrition*, abrasion, cavitation par attaque acide (d'origine bactérienne : carie dentaire), La dentine constitue l'armature dentaire, sa densité de minéralisation est d'environ 75%. Elle

entoure la cavité pulpaire artificiellement scindée en chambre pulpaire (cavité de la couronne) et canal radiculaire (cavité de la racine)(Fig. 3).



Une fois la formation de la dent terminée les odontoblastes*, après avoir édifié la matrice dentinaire tout en se retirant vers l'intérieur de la dent (et en laissant des prolongement – les processus de Tomes - dans les canalicules de la dentine - appelés tubuli)(Fig. 4) tapissent les parois de la cavité pulpaire. Ces cellules sont alors dénommés "pulpoblastes" et continuent à synthétiser tout au long de leur existence (et normalement de celle de l'individu) une dentine secondaire, légèrement moins bien organisée que la dentine primaire, qui se dépose sur les parois de la cavité pulpaire ⁽¹¹³⁾.



En conséquence, la chambre pulpaire et le canal ou les canaux radicaire(s) subissent une réduction de leur volume avec l'âge ⁽¹⁹⁴⁾. Par ailleurs, en cas d'évolution lente d'une lésion carieuse, il se forme en regard, dans la cavité pulpaire, une dentine tertiaire (assez désorganisée) par synthèse pulpoblastique. Sur sa surface externe radicaire, la dentine est recouverte par une fine couche de tissu minéralisé (contenant quelques cellules appelées cémentoblastes) qui sert de matrice d'ancrage aux fibres ligamentaires desmodontales*. Ces fibres ligamentaires en s'implantant d'autre part à l'os cortical de l'alvéole osseuse (appelé lamina dura) maintiennent les dents en place. L'espace desmodontal*, entre la dent et l'os, contient, en plus des fibres ligamentaires, des ramifications nerveuses et vasculaires, ces dernières amenant des nutriments aux cémentoblastes. Ainsi une apposition constante de ciment sur la surface radicaire se produit durant la vie de l'individu.

De par leur constitution plus robuste et leur moins grande susceptibilité hormonale, les dents (âge dentaire), sont considérées comme étant plus à même de permettre d'évaluer l'âge chronologique d'un individu que les os ⁽¹⁵⁸⁾. Enfin, le haut degré de calcification des dents leur permet de supporter des conditions extrêmes telles que : importantes variations de pression ou de température, agressions chimiques, macération et putréfaction ^(31, 61, 85, 155, 199, 245, 246, 270). Cette meilleure résistance en fait, dans des conditions de préservations difficiles, des marqueurs plus fiables que l'os qui se désagrègera plus rapidement dans le temps, s'il est soumis à de telles conditions ⁽¹⁶⁸⁾.

Pour terminer DORION ⁽⁶³⁾ rappelle que ces 2 types de tissus sont suffisamment résistants tout en ayant la capacité de se modeler et ainsi de pouvoir révéler, outre l'état de croissance, le degré de vieillissement et les stigmates d'une activité professionnelle ou une imprégnation par divers polluants (Tab. 2)

Tableau 2 d'après les Tab. 1 & 2 de DORION⁽⁶³⁾

Other characteristics related to dental and skeletal findings

Race	Height	Country of origin	Habits
Shape of dental arches	Degree of calcification of long bones, usually complete by 22-25 years	Dental anomalies	Dental findings
Shape of orbits	Anthropologic height of long bones correlates to total height of body	Dental materials used	Length of long bones vs. other long bones
Relationship between mastoid processes, occipital protuberance and eyebrow ridge		Cavity preparation	Vertebral characteristics
Dental fluorosis		Incidence of caries	Erosion, abrasion
Degree of ossification of teeth		Dental fluorosis	Caries index
Colour of teeth		Abrasion	Periodontal disease
Type of place of restorative materials			
Ethnic characterization of skull			
Cephalic, upper facial and nasal indices			
Incidence of caries			
Incidence of extractions			
Incidence of periodontal disease			
Dental index			
Shape and size of teeth			
Abrasion			

Table 2

Occupation	Socio-economic background	Extent of education
Chemical composition of bones and teeth	Dental findings	Correlates generally to socio-economic background
Calculus composition	Number of extractions	Social organization of the state
Dental findings	Degree of restorative dentistry	Other prepaid dental plans
Occupational habits	Type of restorative materials employed	Type and extent of restorative dentistry
Erosion, abrasion	Consideration of other findings	Extractions

... suite du tableau p. suivante

Suite Tableau 2

d'après les Tab. 1 & 2 de DORION ⁽⁶³⁾

Age and sex related dental and skeletal findings		Table 1
Age	Age changes	Sex changes
In utero to 2 years	Prenatal bone formation Centres of ossification Growth of cranium Growth of cranial base Birth moulding Calcification, eruption, root formation of primary teeth	Calcification and eruption of primary teeth
2-6 years	Ossification centres of tarsals, carpals and extremities of long bones Cranial length Calcification, crown completion, eruption of permanent teeth Loss of primary teeth	Crown formation, eruption of primary teeth Root formation and resorption of primary teeth Calcification, eruption, root formation of permanent teeth
6-12 years	Cranial length Ossification of long bones Root resorption of primary teeth Eruption, root formation of permanent teeth Cranial and mandibular growth Calcification of permanent teeth	Calcification, eruption, root formation of permanent teeth Root resorption, exfoliation of primary teeth
12-25 years	Calcification of permanent teeth Eruption, root formation of permanent teeth Fusion of extremities of long bones to shaft Angle of mandible Chin button Fusion of intra cranial sutures	Eruption, root formation permanent teeth Pelvic bones Bones of the skull Occipital process Chin button Mastoid processes Angle of mandible Frontal bones (eyebrow)
35-38 years*	Cranial sutures Alveolar resorption Angle of mandible Ossification of external sutures of skull begins	Femoral bones Spectropenetration ratio of human enamel Specific gravity of dentin Chemical analysis Styloid process
>40 years*	Ossification of parietal sutures Size of mental foramen Angle of mandible Size of pulp chambers Attrition, abrasion, wear facets Periodontal changes	
>50 years*	Angle of mandible Ossification of coronal sutures Size of mental foramen Alveolar resorption Size of pulp chamber	
>70 years*	Angle of mandible Ossification of temporal sutures Fusion and ossification of intervertebral disks Fusion of sternum Size of mental foramen Ossification of laryngeal and tracheal cartilages Senile involution of long bones	

*± 5 years

4 DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN À PARTIR DE SES OS

Il existe différentes méthodes d'évaluation de l'âge osseux. A ce propos, récemment, BERNDT ET COLL. ⁽¹⁹⁾ relèvent une méthode biochimique d'estimation du taux de racémisation* de l'acide aspartique intra-osseux, qui, malheureusement, est moins précise que celle obtenue à partir de la dentine (probablement car le tissu osseux est plus sensible aux facteurs exogènes que le tissu dentaire) et une méthode histologique sur coupe corticale de fémur évaluant le nombre de canaux de Havers* en fonction de l'âge, méthode qui souffre pour l'instant de trop grandes variations pour être utilisée en pratique. En dehors de ces méthodes nouvelles, biochimiques et microscopiques, les principales techniques reposent soit sur une étude quantitative de l'os examiné, soit, plus généralement sur des techniques dites qualitatives qui évaluent le degré de maturation* des centres d'ossification.

4.1 MÉTHODES QUANTITATIVES

Ces méthodes font référence aux notions de dimensions (taille) des os ou de quantification de leur minéralisation.

4.1.1 Scintigraphie

GUILLET ET COLL. ⁽⁸²⁾ affirment que cette méthode est complémentaire de la biométrie* réalisée à partir de radiographies, car elle lui apporte une dimension métabolique et fonctionnelle. Ceci est possible car le traceur, du méthylène diphosphonate marqué au Technécium 99 métastable, se fixe au niveau des cartilages de croissance où se situe une intense vascularisation (vaisseaux épiphysaires et branches collatérales de l'artère nourricière). Tous les foyers de croissance sont bien visibles et hypercaptants* dès la période néonatale et de façon symétrique, avec un paroxysme vers 5 ans. Entre 15 et 18 ans une diminution progressive de la fixation est objectivée par les caméras à scintillation*. Enfin, entre 18 et 21 ans l'hyperactivité est moins bien délimitée (Tab. 3)

Tableau 3 Activité mesurée du Tc 99m pendant la croissance d'après le Tab. 1 de GUILLET ET COLL. ⁽⁸²⁾

Tranches d'âge (effectif)	Cartilages de croissance
21 jours à 1,9 ans (15 enfants)	extrémités proximales et distales : humérus, radius, cubitus, fémur, tibia, calcanéum (?).
2 ans à 5,9 ans (24 enfants)	entre 2 et 4 ans : péroné (proximal), grand trochanter. 4 ans : pointe de l'omoplate et région du cotyle. 5 ans : apophyse coracoïde, péroné (distal).
6 ans à 15,9 ans (71 enfants)	Pas de différence notable
16 ans à 21 ans (50 patients)	Disparition progressive de l'hyperactivité des cartilages de croissance.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Alors que la captation est présente dès la période néonatale, sa disparition entre 16 et 21 ans est trop progressive pour pouvoir assigner avec exactitude un âge durant cette période. De plus, selon le protocole proposé, l'irradiation subie par le patient et déclarée par les auteurs est d'environ 5, 8 mCi/m² de surface corporelle, ce qui représente, après calcul (voir Chapitre 1. La physique des rayonnements, p18-19 et Chapitre 2. L'inventaire des expositions humaines, p. 219 ⁽⁷³⁾), une Dose Efficace de 1,25 mSv (équivalent à une exposition d'environ 120 jours d'irradiation naturelle à Genève ou à environ 40 radiographies panoramiques dentaires OPT) par m² de surface corporelle !

4.1.2 Evaluation du taux de minéralisation osseuse (BMD)

Comme précédemment mentionné, certains auteurs ⁽¹⁵⁷⁾ ont proposé de mesurer ce BMD, sur section de fémur, au moyen de l'évaluation de la porosité intracorticale et de l'état de fusion sterno-claviculaire.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

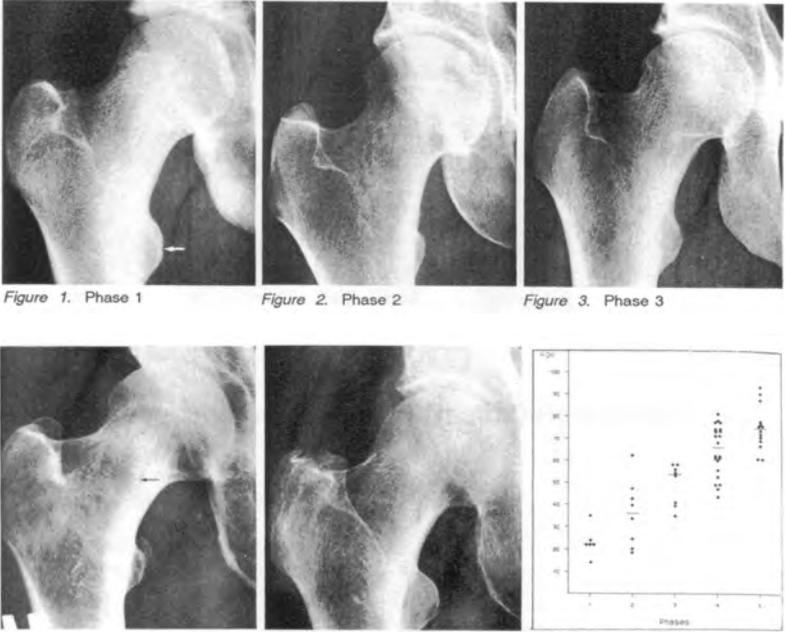
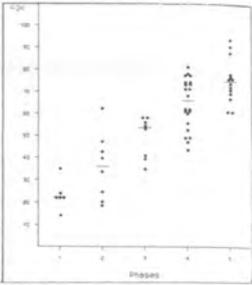
Ces auteurs notent cependant l'effet important que pourrait avoir l'état de lactation/gestation ou de ménopause d'un sujet féminin évalué, particulièrement si l'on considère les habitudes relatives aux populations modernes et anciennes. A propos des habitudes, KEMPER ET COLL. ⁽¹⁰³⁾ notent, à l'aide d'une méthode d'absorptiométrie biphotonique (DXA*) (réalisée chez des sujets de 29 ans) que le BMD n'est pas affecté par l'activité physique régulière "générale" (exercice de type cardio-pulmonaire) à l'adolescence au niveau du poignet, mais l'est, de façon peu

importante au niveau des vertèbres lombaires et des cols fémoraux. Au total, les éléments de la littérature sont trop inconsistants pour relier l'âge osseux au BMD de manière fiable.

4.1.3 Modifications régressives trabéculaires du fémur

LYNNERUP ET COLL. ⁽¹⁴⁷⁾ ont mis au point une technique déterminant l'âge en fonction des changements trabéculaires (et donc de la densité) observés sur les radiographies de l'extrémité proximale du fémur chez 60 patients (38 F/ 22 M âgés de 14 à 94 ans) à l'aide d'une classification en 5 stades (Tab. 4).

Tableau 4 Modifications régressives trabéculaires fémorales d'après le Tab. 2 de LYNNERUP ET COLL. ⁽¹⁴⁷⁾

<p>Phase 1 Femoral head, neck and proximal end of mid-shaft filled with intact trabecular tissue (Figure 1).</p> <p>Phase 2 Radiolucency of the trabecular tissue beginning distally but not exceeding the lesser trochanter (Figure 2).</p> <p>Phase 3 Radiolucency of the trabecular tissue exceeding the lesser trochanter but not extending into the femoral neck, i.e. the radiolucency does not exceed the petrochanteric line (Figure 3).</p> <p>Phase 4 The radiolucency of the trabecular tissue extends into the femoral neck and is observed as a well-defined triangular radiolucency between the petrochanteric line and the femoral head (Figure 4).</p> <p>Phase 5 The radiolucency of the trabecular tissue extends into the femoral head, most prominently observed in the proximal area of the femoral head (Figure 5).</p> <p>Figure 6: Corrélation* entre l'âge réel en ordonnée* par graduation de 10 ans et la phase en abscisse*. La dispersion des résultats est en moyenne de 20-30 ans avec pour les phases 2 et 4 une dispersion de 40 ans!</p>	 <p>Figure 1. Phase 1 Figure 2. Phase 2 Figure 3. Phase 3</p> <p>Figure 4. Phase 4 Figure 5. Phase 5</p>  <p>Figure 6: Correlation plot between actual age and phase. Median value for each phase is indicated by a bar.</p>
--	---

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Bien qu'intéressante, car évitant grâce à l'utilisation des rayons X de devoir sectionner le sujet lors de la détermination de l'âge au décès, et montrant peu de différence d'appréciation entre observateurs (faible variabilité inter-observateurs), cette méthode est cependant trop imprécise pour pouvoir être utilisée à elle seule : l'âge estimé se situe dans un écart de 20-30 ans!(Fig.6 du Tab. 4).

4.1.4 Mesures de longueurs

4.1.4.1 Longueurs Corporelle et des segments de membres

D'après ATTALAH & MARSHALL ⁽¹⁰⁾, il est possible de déterminer* l'âge d'un individu selon sa stature* et la taille de ses segments de membres. Ces auteurs ont testé sur plus de 680 filles et 514 garçons britanniques âgés de 4 à 19 ans deux techniques de mesures, l'une photographique et l'autre clinique (Fig. 5).

Figure 5 Méthode de mesure de longueur des membres d'après les **Fig. 1 et Tab. 2** de ATTALAH & MARSHALL ⁽¹⁰⁾ et coefficient de corrélation* entre l'âge chronologique et différente longueurs de membres

Table II. Average correlation coefficients between chronological age and different body segments studied in boys and girls

Correlation between age and:	Boys		Girls	
	No	r	No	r
Stature	2378	0.96	1531	0.96
Sit Height	2378	0.95	1531	0.94
Upper arm	2378	0.94	1531	0.94
Forearm	2378	0.95	1531	0.94
Lower leg	2378	0.95	1531	0.94
Hand Length	2378	0.93	1531	0.93
Foot Length	2378	0.93	1531	0.92

No is the number of pairs of measurements

Photogrammetric Measuring

Techniques: (see Figure 1)

Upper limb: anterior view photograph

Upper limb—(shoulder to wrist), from lateral end of clavicle to base of thenar eminence at the level of the wrist.

Upper arm—(shoulder to elbow), from lateral end of clavicle to centre of skin crease at elbow.

Forearm—(elbow to wrist), from centre of skin crease at elbow to base of thenar eminence, as above.

Lower limb: posterior view photograph

Lower limb—(gluteal fold to ankle), from a horizontal line through the intersection of the medial end of the gluteal fold with the medial border of the thigh, to the most prominent part of the outline of the lateral malleolus.

Thigh—(gluteal fold to knee), from a horizontal line through the intersection of the gluteal fold and medial border of the thigh to the intersection of the skin crease at the knee with lower end of the shadow associated with biceps femoris tendon.

Lower leg—(knee to ankle), from intersection of skin crease and shadow as above to lateral malleolus.

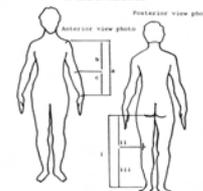


Figure 1: Data points for photogrammetric limb measurements.
 a = upper limb;
 b = upper arm;
 c = forearm.
 i = lower limb;
 ii = thigh;
 iii = lower leg.

Sur la base de leurs observations, ces auteurs ont trouvé, pour une distribution "normale", une relation de type régression* linéaire (simple ou multiple selon le nombre de segments inclus dans leurs calculs, où le(s) segment(s) représente(nt) la variable indépendante et l'âge la variable dépendante). Ainsi, la stature présente le meilleur coefficient de corrélation* ($r=0,96$) avec l'âge chronologique (table II de la Fig. 5) et la méthode clinique se révèle plus précise que la méthode photographique avec une déviation standard résiduelle respectivement de $\pm 0,93$ an versus $\pm 1,3$ ans.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Il est évident que la méthode photographique est plus malaisée que la méthode clinique, particulièrement si la personne investiguée est corpulente, effaçant ainsi certains repères anatomiques. De plus une standardisation du facteur de

réduction photographique et de la position du sujet rend la technique malpratique et réduit la fiabilité et la reproductibilité des mesures. D'autre part cette technique a été établie sur un échantillon d'enfants des deux sexes caucasoïdes britanniques en bonne santé et âgés de 4 à 19 ans. Enfin les résultats en déviation standard résiduelle évoqués plus haut signifient que ces âges estimés dans une marge de 1,86 an (versus 2,6 ans) ont 68% de chance d'être valables pour un sujet investigué s'il est apparié à l'échantillon (donc caucasoïde*, en bonne santé et britannique).

4.1.4.2 Longueurs métacarpophalangiennes

LAURENCIKAS & ROSENBORG ⁽¹²⁴⁾ ont établi un profil métacarpo-phalangé, selon l'âge, d'un échantillon de la population suédoise d'âge compris entre 1 mois et 18 ans (57 filles et 62 garçons suivis longitudinalement) (Tab. 5).

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cette technique, basée sur le système des z-scores ($[\text{longueur de l'os mesuré} - \text{longueur de référence de cet os}] / \text{déviation standard}$) nécessite tout d'abord d'obtenir un profil local (en fonction de l'origine, il s'agit de trouver les valeurs de référence) et ensuite, pour chaque nouveau sujet évalué, la mesure (puis le calcul des z-scores) des 19 os des doigts de la main, ce qui a le désavantage de prendre beaucoup de temps.

Tableau 5 Profil métacarpo-phalangé selon le Tab. 1 de LAURENCIKAS & ROSENBORG ⁽¹²⁴⁾

Table 1. Standards of metacarpal and phalangeal lengths and variability of ages 2 to 18 years*

Age (years)	Males										Females																										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
No. of cases	71	75	76	78	77	80	79	73	77	76	75	65	72	68	73	68	60	60	61	72	73	61	61	71	68	60	60	57	57	57	57	57	57				
Dph V**	Mean	8.2	8.5	8.8	9.1	9.7	9.8	10.6	11.3	11.9	12.6	13.2	14.4	15.1	15.5	16.2	17.4	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0				
Dph IV	SD	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7				
Dph III	Mean	9.3	9.7	9.9	10.4	10.8	11.2	11.8	12.4	13.0	13.6	14.1	14.8	15.5	16.1	16.8	17.8	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4			
Dph II	SD	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7			
Dph I	Mean	11.4	12.0	12.3	12.8	13.1	13.5	14.1	14.7	15.2	15.8	16.4	17.0	17.6	18.1	18.7	19.4	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1		
Mph V**	SD	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9			
Mph IV	Mean	14.1	15.0	15.5	16.2	16.8	17.4	18.1	18.8	19.5	20.2	20.9	21.6	22.3	23.0	23.7	24.4	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1		
Mph III	SD	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
Mph II	Mean	12.1	12.9	13.3	13.9	14.4	14.9	15.5	16.1	16.7	17.2	17.7	18.3	18.8	19.3	19.8	20.3	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	
Mph I	SD	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
MC V	Mean	23.8	24.7	25.5	26.3	27.1	27.9	28.7	29.5	30.3	31.1	31.9	32.7	33.5	34.3	35.1	35.9	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	
MC IV	SD	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	
MC III	Mean	26.4	27.3	28.1	28.9	29.7	30.5	31.3	32.1	32.9	33.7	34.5	35.3	36.1	36.9	37.7	38.5	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	
MC II	SD	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
MC I	Mean	31.4	32.3	33.2	34.1	35.0	35.9	36.8	37.7	38.6	39.5	40.4	41.3	42.2	43.1	44.0	44.9	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8
MC I**	SD	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

* All values are in mm. ** small number (5 - 20) of individuals with ossified epiphysis at the age of 2 years MC - metacarpal, Pph - proximal, Mph - middle and Dph - distal phalanx

4.1.5 Rapport de longueurs

4.1.5.1 Au niveau des os de la main

FARUCH BILDFELD ET COLL. ⁽⁶⁸⁾ ont testé une nouvelle méthode quantitative pour évaluer l'âge osseux chez 417 sujets (filles et garçons) caucasoïdes âgés de 2 à 20 ans. Ils ont mesuré d'une part le rapport du diamètre de l'épiphyse et celui de la diaphyse du second métacarpien, et d'autre part l'index cortical du 2^{ème} métacarpien (Fig. 6).

Figure 6 Longueurs utilisées pour trouver le rapport de longueur et l'index cortical du 2^{ème} métacarpien d'après la Fig. 2 de FARUCH BILDFELD ET COLL. ⁽⁶⁸⁾

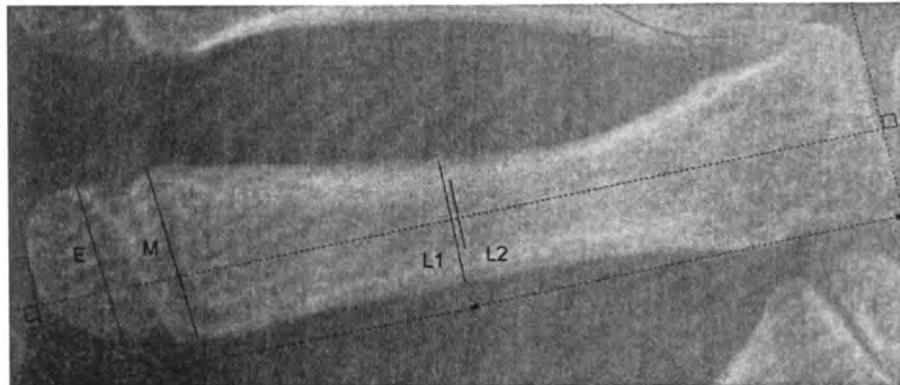


Fig. 2 : Radiographie de la main centrée sur le second métacarpien. Mesures de la largeur épiphysaire (E), de la largeur métaphysaire (M), de la largeur du canal médullaire (L1) et de la largeur diaphysaire (L2).

Ils ont trouvé une bonne corrélation* entre le rapport épiphysio-diaphysaire et l'âge, tant chez les filles ($R^2=0,68$) que chez les garçons ($R^2=0,62$) de leur échantillon, avec très peu de différences intra- et inter-observateurs. La corrélation* reste toutefois faible pour l'index cortical. Ces auteurs concluent à la possible utilisation de ce rapport comme méthode d'évaluation de l'âge osseux, l'examen étant peu irradiant, économique (et le second métacarpien se révélant être un os bien préservé dans les cas anthropologiques) sous réserve d'une confirmation de leurs résultats au moyen d'une étude plus large et multiethnique.

Précédemment à cette étude, LILIEQUIEST & LUNDBERG ⁽¹³⁴⁾ ont aussi tenté d'évaluer l'âge osseux au moyen du rapport longueur (prise parallèlement au métacarpien correspondant) / largeur (à angle droit) des os du poignet visualisés

au moyen de radiographies (selon une méthode simplifiée de Schmid & Moll de 1960). Leurs résultats se sont révélés reproductibles, sans différence statistiquement significative entre la main gauche et la main droite, et avec une perte de précision minimale en ne tenant compte que de la largeur. Ils montrent une différence structurelle entre la maturité des filles (plus avancée selon l'âge chronologique) et celle des garçons (dimorphisme* sexuel).

Enfin, GROSS ET COLL. ⁽⁸⁰⁾ ont mis au point un réseau neuronal (Figure A1 de Fig. 7) pour déterminer semi-automatiquement l'âge d'un sujet d'après 10 mesures (en fait un rapport de longueurs épiphyso-diaphysaire afin de supprimer un éventuel effet d'agrandissement dû à la technique radiographique) réalisées par l'observateur sur certains des os de la main (Figure 2 de Fig. 7). L'explication de l'élaboration et du fonctionnement de ce système informatique dépasse largement le cadre de ce travail et il suffira ici de savoir que ce logiciel de type réseau neuronal (composé de 4 noeuds d'entrée (input, pour les longueurs mesurées), 3 noeuds cachés (hidden) et 1 noeud de sortie (output), voir Figure A1 de Fig. 7) a été entraîné sur 353 cas des 532 radiographies de mains de l'échantillon de l'étude et que la précision de la méthode est du même ordre que celle obtenue par des radiologues à l'aide de la méthode de maturation* osseuse de type atlas de Greulich & Pyle (GP)!

Figure 7 Réseau neuronal et type de mesures pour l'alimenter selon Fig. A1 & Fig. 2 de GROSS ET COLL. ⁽⁸⁰⁾

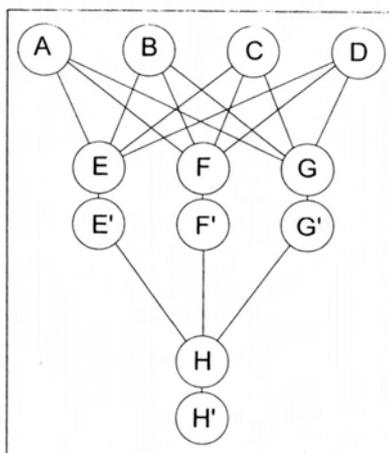


Figure A1. The neural network architecture that was used in this study is illustrated. The letter designations correspond to the equations in the Appendix that describe the calculation of skeletal age in detail.

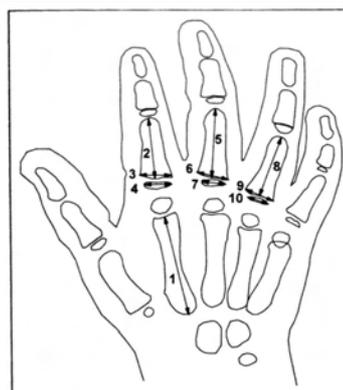


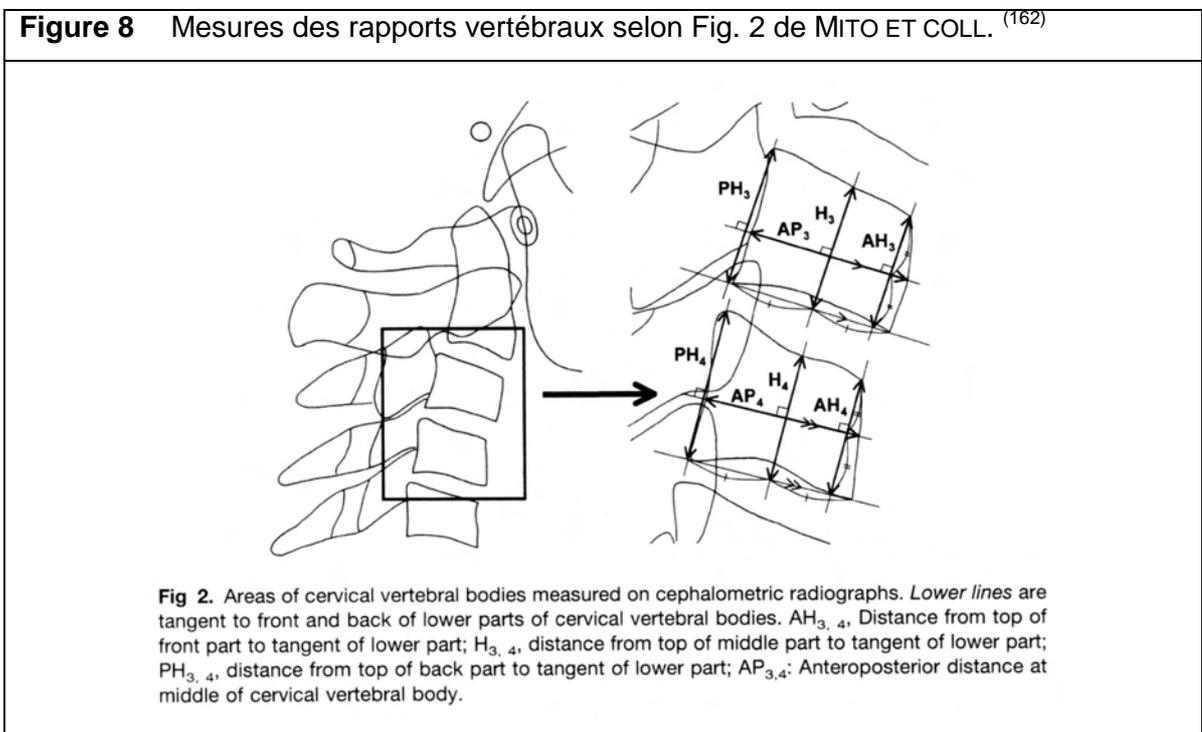
Figure 2. Diagram of a hand radiograph demonstrates the 10 measurements that were acquired manually from the digitized images. Of these 10 measurements, seven were used to form the inputs to the neural network. Because of scale variations between the digital images in the database, the seven measured values were expressed as four ratios (therefore canceling out scale factors) before input to the neural network: parameter 1 = m_4/m_3 , parameter 2 = m_7/m_6 , parameter 3 = m_{10}/m_9 , parameter 4 = m_4/m_1 .

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Ces trois études montrent une suffisamment bonne prédiction de l'âge, car comparable à celle obtenue par la méthode GP, et sont utilisables pour des tranches d'âge de respectivement 2 à 20 ans, de la naissance à 18 ans et de 6,5 à 14,5 ans.

4.1.5.2 Au niveau des vertèbres cervicales

MITO ET COLL. ⁽¹⁶²⁾ se sont proposé d'établir l'âge osseux en fonction du rapport hauteur/largeur pour les 3^{ème} et 4^{ème} vertèbres cervicales à partir de mesures réalisées sur des radiographies de profil (Fig. 8).



A l'aide d'une analyse statistique (régression*) liant les mesures à l'âge chronologique (plutôt qu'à l'âge osseux selon la méthode des scores de maturation de Tanner-Whitehouse (TW), car l'âge chronologique lorsqu'il est connu n'est pas sujet à interprétation), ces auteurs ont pu montrer que leur méthode était aussi efficace que l'évaluation de l'âge par la méthode TW2 (voir plus bas) pour la précision de l'âge prédit (Fig. 9) et quant à la reproductibilité de la méthode (variabilité intra-observateur $r=0,998$ pour $p<0,001$).

Figure 9 Résultats de l'étude de MITO ET COLL. ⁽¹⁶²⁾ illustrés par leurs Fig. 6 et Tab. II

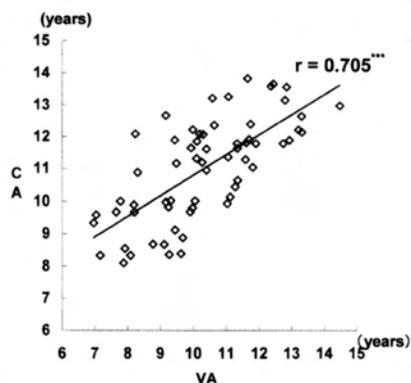


Fig 6. Scattergram of cervical vertebral bone age (VA) and chronological age (CA) (group 2); ***P < .001.

Table II. Differences between cervical vertebral bone age (VA) and bone age (BA) and chronological age (CA)

	<i>Average difference (years) (absolute value)</i>
VA and BA	0.75 ± 0.56
VA and CA	1.17 ± 0.86

Average \pm 1SD.
Significant (P < .001) differences were found between VA and BA, and between VA and CA (absolute values).

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Il faut cependant noter que cette étude ne concerne qu'un échantillon de filles japonaises âgées entre 7 et 14,9 ans.

4.1.6 Calcul de surface au niveau du poignet

CAMERIERE ET COLL. ⁽³⁶⁾ ont analysé les radiographies de poignets de 150 enfants italiens âgés de 5 à 17 ans et ont "extrait", au moyen de l'outil "lasso polygonal" du logiciel Photoshop[®] 7.0, l'aire totale des os du carpe (Ca) et l'aire totale de minéralisation épiphysaire (radius + ulna : Bo). En utilisant le rapport des aires Bo/Ca de cet échantillon soumis à une analyse statistique par régression linéaire ($\text{Age} = -3,253 + 0,719g + 20,610\text{Bo/Ca}$), ils trouvent une moyenne résiduelle (âge observé – âge prédit) de 0,08 ans mais pour un quartile de 1,59 ans (soit 50% de chance de voir l'âge prédit inclus dans cet intervalle de 3,18 ans). Par la suite, CAMERIERE ET COLL. ⁽³⁵⁾ ont confirmé leurs résultats sur un échantillon de Slovènes moyennant adaptation de la formule statistique de régression linéaire. Ils ont pensé ainsi pouvoir échapper à la critique généralement opposée à l'utilisation des méthodes (qualitatives) de maturation de type atlas (Greulich & Pyle) ou des scores (Tanner-Whitehouse) à cause d'une population de référence de ces dernières non comparable (ethniquement et/ou socio-économiquement) à la personne étudiée (ici des Slovènes). Ils obtiennent une précision dans l'estimation du même ordre que celle obtenue à l'aide de l'atlas de Greulich&Pyle (GP) pour leur échantillon.

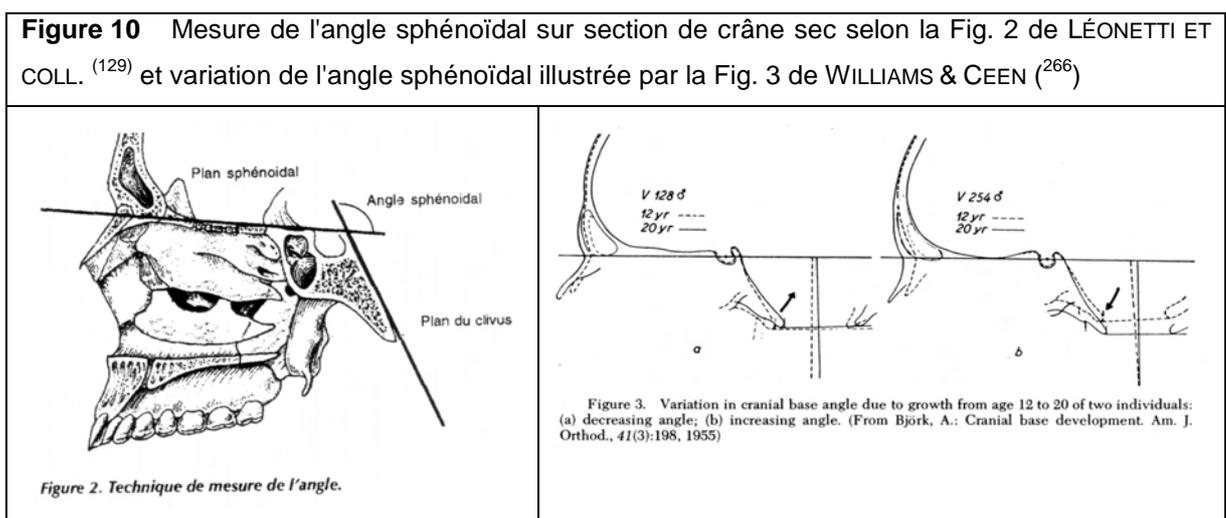
HSIEH ET COLL. ⁽⁹⁵⁾ ont, quant à eux, étudié des radiographies de poignets scannées d'enfants taiwanais âgés entre 2 et 8 ans. Ils ont élaboré une technique "d'extraction" automatique (par reconnaissance des aires) des os du carpe non superposés entre eux et d'analyse par réseau neuronal de la taille (et de la surface) de ces os pour obtenir de manière automatique l'âge osseux du sujet. Les résultats sont aussi fiables et précis que ceux obtenus par la classique méthode d'évaluation de la maturation de type atlas de Greulich & Pyle. Cependant il faut bien noter que cette technique n'est pour l'instant valable que pour des enfants âgés de moins de 8 ans : au delà, les os du carpe sont trop superposés pour une détection automatique des contours de chaque os, rendant l'extraction des surfaces impossible.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s):

Les résultats en précision d'estimation de l'âge pour cette technique sont similaires à ceux obtenus par la méthode GP, de plus les études de CAMERIERE ET COLL. concernent la tranche d'âge 5-17 ans et celle de HSIEH ET COLL. est, pour l'instant, techniquement limitée à la tranche d'âge 2-8 ans.

4.1.7 Variation de l'angle sphénoïdal

LEONETTI ET COLL. ⁽¹²⁹⁾ ont démontré, sur crâne sec, une bonne corrélation* ($r = - 0,989$) entre la valeur de l'angle sphénoïdal (Fig. 10) et l'âge chez le sujet adulte (entre 25 et 85 ans: cet angle diminue avec l'âge).



Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

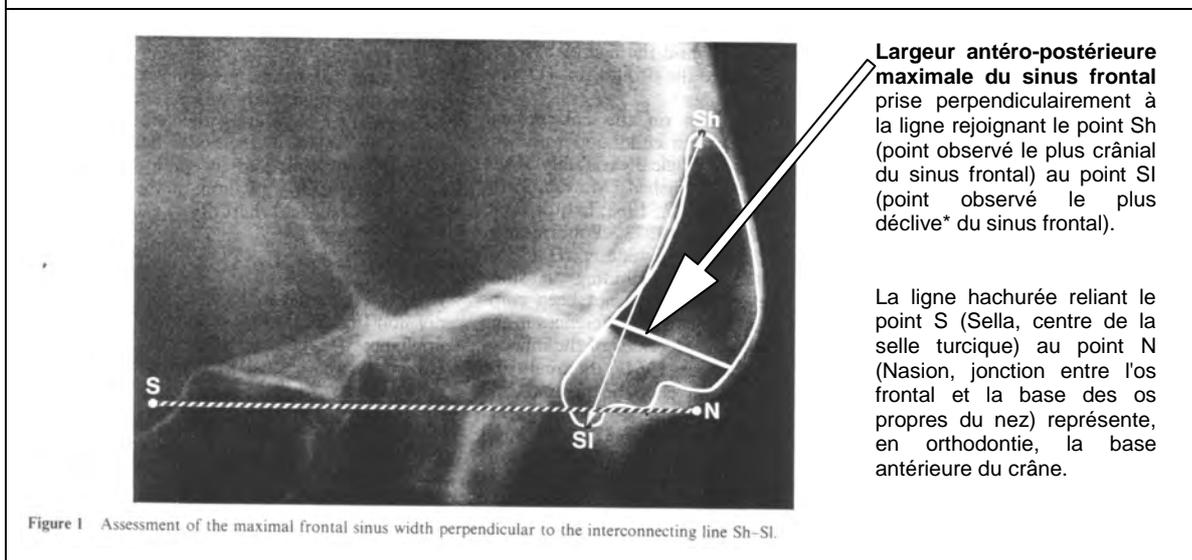
Bien que leur échantillon de départ semble assez grand (292 crânes) il n'en demeure pas moins qu'étant composé de sujets de chaque sexe et de 2 origines

ethniques différentes (Afrique et Europe), les sous-groupes par tranche d'âge (de 5 ans) sont de petite taille (et sans discernement du sexe et de l'ethnie) : moins de 10 cas dans les tranches 15-19 et 85-90 ans et moins de 20 cas pour 25 à 34 et 55 à 84 ans, réduisant de ce fait très nettement la puissance statistique de leurs résultats. D'autre part, comme le relèvent WILLIAMS ET CEEN ⁽²⁶⁶⁾, au cours de la croissance (entre 12 et 20 ans) et en fonction du développement cérébral, l'angle de la base du crâne peut se réduire ou s'agrandir d'environ 10° (Fig. 10). Cela peut conduire à une variation inter-individuelle de cet angle d'environ 20° pour la même classe d'âge, rendant difficile l'appréciation du degré d'angle de fermeture dû à l'âge seul.

4.1.8 Taille du sinus frontal

Parmi les méthodes quantitatives d'analyse de la maturation osseuse RUF & PANCHERZ ^(207, 208, 209) ont tenté de corréliser cette dernière avec la largeur antéro-postérieure maximale du sinus frontal visualisée sur des clichés radiologiques de crâne de profil selon le schéma de la Fig. 11.

Figure 11 Mesure du sinus frontal selon la Fig. 1 de RUF & PANCHERZ ⁽²⁰⁸⁾



Limite(s), domaine d'application, ou remarque(s) :

Malheureusement, le sinus frontal est connu pour avoir une grande variabilité anatomique, à tel point qu'il peut être utilisé avantageusement (chez le sujet d'âge supérieur à 20 ans) pour l'identification d'une personne décédée (par comparaison avec des clichés radiologiques ante-mortem, la meilleure incidence* pour cela étant postéro-antérieure avec le patient en position nez-menton-plaque

(incidence* de Blondeau pour les francophones, Waters ou occipitomentale projection pour les anglophones) ⁽¹⁶⁹⁾. D'autre part, l'échantillon de RUF & PANCHERZ est petit (59 cas), ne contient que des sujets du même sexe (M), et leur étude ne permet pas de déterminer le moment exact de fin de maturation de la taille du sinus frontal. Enfin, ils se sont plus intéressés à mettre en évidence un pic de croissance* du sinus frontal (qui apparaît 1,4 ans en moyenne avant le pic de croissance de la stature*) que d'évaluer l'âge osseux à partir de la taille du sinus frontal.

4.1.9 Epaisseur du diploé et volume crânien

HATIPOGLU ET COLL. ⁽⁸⁹⁾ se sont appliqués à mesurer l'épaisseur du diploé de la voûte crânienne ainsi que le volume de la voûte au moyen de l'observation d'images obtenues par résonance magnétique (séquence pondérée T1 sagittale et axiale d'une durée approximative de 15 minutes, Fig. 12) et à en chercher une relation (par régression* linéaire) avec le sexe, l'âge et l'indice de masse corporelle (BMI) de 107 sujets caucasoïdes (59 F/48 M) âgés de 21 à 81 ans.

Figure 12 Mesures du diploé et du volume crânien sur images d'IRM selon les Fig 1 & 2 d'HATIPOGLU ET COLL. ⁽⁸⁹⁾

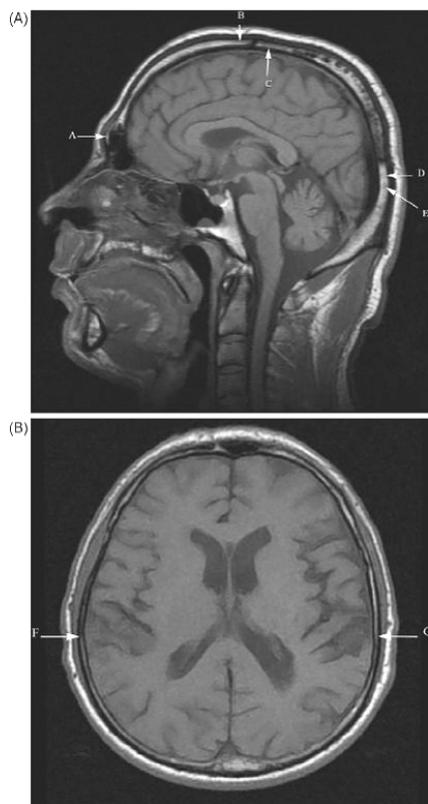


Fig. 1. The diploé thickness was measured from glabella (A), 1 cm above bregma (B), 1 cm below bregma (C), 1 cm below lambda (D), opisthocranium (E) on sagittal T1-weighted image, and (B) right (F) and left euryon (G) on axial T1-weighted image.

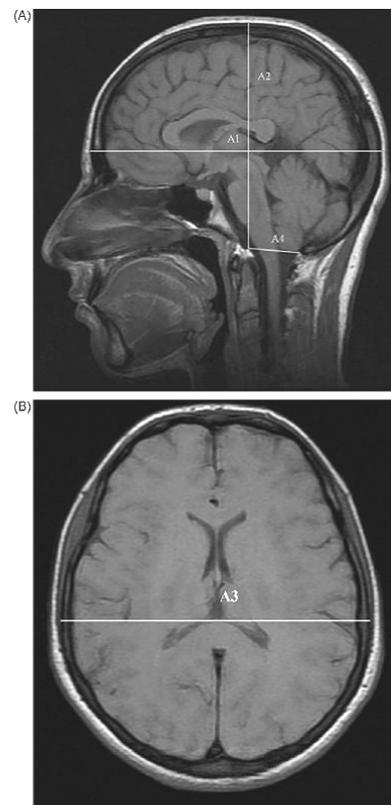


Fig. 2. (A) Midline sagittal spin-echo T1-weighted image demonstrates measurements from glabella to opisthocranium (A1), vertex to basion (A2) and basion to opisthion (A4). (B) Euryon-euryon width (A3) was shown on axial spin-echo T1-weighted image.

Ils trouvent, contrairement à une littérature discordante citée dans leur article, une corrélation* entre ces trois variables et différentes valeurs d'épaisseur du diploé selon la localisation anatomique. Ils en déduisent la possibilité qu'offrent ces mesures quantitatives non irradiantes pour assigner le sexe, le poids et l'âge d'un sujet.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

LYNNERUP ⁽¹⁴⁵⁾, sur la base de mesures d'épaisseur de la voûte crânienne (en différentes régions) de 64 cas d'autopsie (21 F, 43 M, âgés de 16 à 90 ans) de sujets d'âge et d'état de santé avant décès connus, n'a pas trouvé de corrélation* entre l'épaisseur de la voûte, l'âge, le sexe, le poids et la taille des individus. Pour cette dernière étude, comme pour celle d'HATIPOGLU ET COLL. on note que l'échantillon est petit et que, en conséquence, des études étendues à de plus grandes cohortes seraient nécessaires pour infirmer ou confirmer les résultats d'HATIPOGLU ET COLL. et pouvoir alors utiliser leur méthode dans la pratique.

4.2 MÉTHODES QUALITATIVES (MATURATION*, CHANGEMENTS RÉGRESSIFS*)

4.2.1 Changements régressifs* des os de la main

Pour KOBLYANSKI ET COLL. ⁽¹⁰⁶⁾ les modifications régressives liées à l'âge sont observables sur les images de 2^{ème} à 5^{ème} rayons* (le pouce n'est pas pris en compte car il n'est pas orienté dans le même plan de l'espace) sur des clichés de la main en projection dorso-palmaire (à 1 mètre) qui ont l'avantage d'être aisément reproductibles. Ces auteurs, en observant les rayons* II à V, assignent un "score osséographique" au sujet en fonction de l'absence ou de la présence de 5 critères sur ces divers os. Ces critères sont : 1. présence d'ostéophytes ou de nodosités* d'Heberden* périarticulaire; 2. manifestation de l'ostéoporose (lacunes); 3. ostéosclérose; 4. déformation non traumatique des articulations; 5. élargissement des tubérosités des phalanges distales (unguéales) (Fig. 13). Les valeurs extrêmes pour ce score vont de 0 (aucun changement régressif observé) à 80 (tous les os des 4 rayons* atteint des 5 critères) mais sont, dans leur étude, plus proches de 40.

Figure 13 Critères de modifications régressives des os de la main selon la Fig. 2 de Kobyliansky et coll. (106)

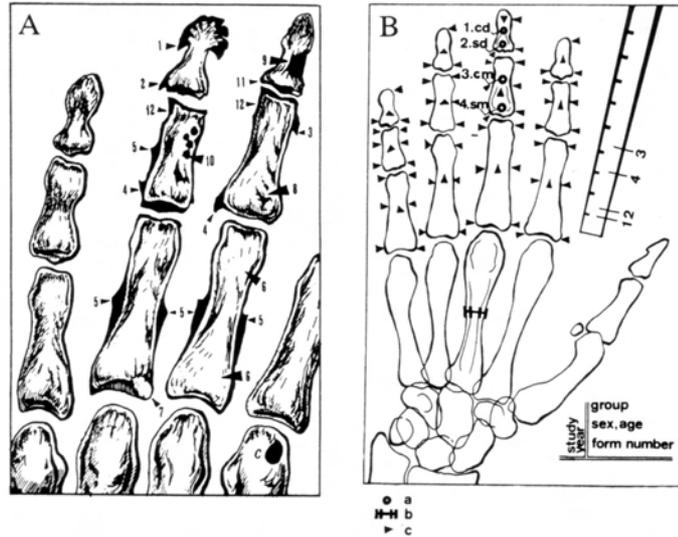


Figure 2. (A) Composite diagram of age transformation of hand bones assessed by osteographic scores. Osteophytes: (1) apostosis (not to be confused with normal variants of tuberositas unguicularis); (2) Heberden's nodes; (3) Rokhlin's nodes; (4) Bouchar's nodes; (5) exostosis. Porosis: (6) osteoporosis; (7) atrophy; (8) resorption islets. Sclerosis: (9) enostosis; (10) sclerotic nuclei; (11) narrowing of articular slit. Nontraumatic joint deformities: (12) erosion. For comparison, a normal phalanx is shown. (B) Hand radiograph indicating regions of AOS assessment. (a) Determination of mineral content: compacta (cd) and spongiosa (sd) of distal phalanx; compacta (cm) and spongiosa (sm) of medial phalanx. The scale in the upper right of the figure shows the reference aluminum cline used for the evaluation of bone density. On the third finger phalanges, 1.cd, 2.sd, 3.cm, and 4.sm designate relative density (1-4 of the reference cline) of the distal and medial phalanges compacta and spongiosa. (b) Compactness index components. (c) Elements of age-associated changes in bone structures.

Au moyen d'une méthode mathématique stochastique* et d'une formule qui prend en compte le fait qu'avant un temps t_0 les changements régressifs sont latents (car non visualisables radiologiquement avant l'âge de 30 ans environ), puis progressifs et linéaires, les auteurs ont trouvé une bonne corrélation* (coefficient $r=0,92$) entre l'âge osseux (points noirs Fig. 14) et l'âge réel (et l'âge prédit par le modèle, ligne noire Fig. 14).

Figure 14 Corrélation* âge osseux (BA), âge chronologique et âge prédit pour l'étude de Kobyliansky et coll. (106) et illustrée par leur Fig. 3

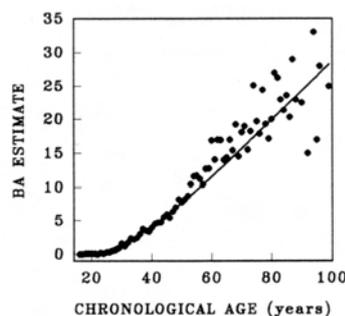


Figure 3. Observed (circles) and expected (curve) mean biological age estimates in total sample of males.

Dans la continuation de cette étude, KARASIK ET COLL. ⁽¹⁰¹⁾ ont confirmé que les changements régressifs liés à l'âge, au niveau des métacarpes et phalanges de rayons* II à V, ne montrent pas de dimorphisme* sexuel et ils relèvent l'aspect sigmoïde de la courbe corrélant l'âge osseux, déterminé par le score osséographique, à l'âge chronologique avec un début lent des changements (vers 20-30 ans) puis une accélération vers 35 ans : l'ostéo-arthrite est donc une preuve de l'avancement en âge d'une personne. Enfin en reprenant leurs résultats, KOBLYANSKY ET COLL. ⁽¹⁰⁵⁾ ont trouvé peu d'influence des facteurs environnementaux sur le taux de changement régressif et un effet plus marqué dû aux différences génétiques parmi ces 32 populations humaines.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Pour ces auteurs, et par une étude de régression* multiple (de type logistique) le coefficient de corrélation* est de $0,93 \pm 5,4$ ans pour la population russe étudiée ou $0,89 \pm 6,3$ ans pour les Turkmènes (âge des sujets respectivement : 18 à 91 ans et 18 à 83 ans) ce qu'ils considèrent comme meilleur que l'évaluation par l'état de la symphyse pubienne (qui n'évalue l'âge que jusqu'à 60 ans et avec une erreur standard de ± 10 ans), de la surface de la crête iliaque (évaluation jusqu'à 60 ans et erreur standard de ± 7 ans), de l'étude des sutures crâniennes (évaluation jusqu'à 70 ans et erreur standard ± 17 ans) ou encore des phases régressives des têtes costales (évaluation jusqu'à 70 ans et erreur standard ± 12 ans) ⁽¹⁰¹⁾.

4.2.2 Maturation* et changements régressifs* des côtes

İŞCAN ET COLL. ont décrit la présence de 9 phases morphologiques différentes (cotée de 0 à 8) au niveau de l'extrémité sternale de la 4^{ème} côte en fonction de l'âge, d'abord sur l'observation de pièces anatomiques de 118 hommes caucasoïdes (âgés de moins de 16 ans à 72 ans) ⁽⁹⁶⁾ et ensuite pour 86 femmes caucasoïdes (de moins de 10 ans à 90 ans) ⁽⁹⁷⁾. Leur analyse statistique (ANOVA) a montré que ces changements morphologiques étaient corrélés à l'âge et que : pour les hommes, la métamorphose de l'extrémité costale était rapide et uniforme pour les phases 1 à 4 (âge moyen 17 à 28 ans / la phase 0 contient tous les âges où aucun changement n'est visible, soit ≤ 16 ans / une phase dure environ 3 ans dans cet intervalle) puis devenait plus variable à partir de la phase 5 (âge moyen 39 ans / à partir de la phase 5, la durée d'une phase est d'environ 10 ans) (Fig. 15); pour les femmes, la métamorphose suit le même schéma mais en débutant plus tôt et avec une morphologie différente, surtout pour les phases 5 à 8 (donc

phases 1 à 4 avec 1 âge moyen de 14 à 28 ans / et les phases 5 à 8 sont d'intervalles de 10 à 15 ans) (Fig. 16).

Figure 15 Changements morphologiques de l'extrémité sternale de la 4^{ème} côte chez le sujet caucasöide* masculin illustrés par les Plates 1 à 3 d' İŞCAN ET COLL. (96)

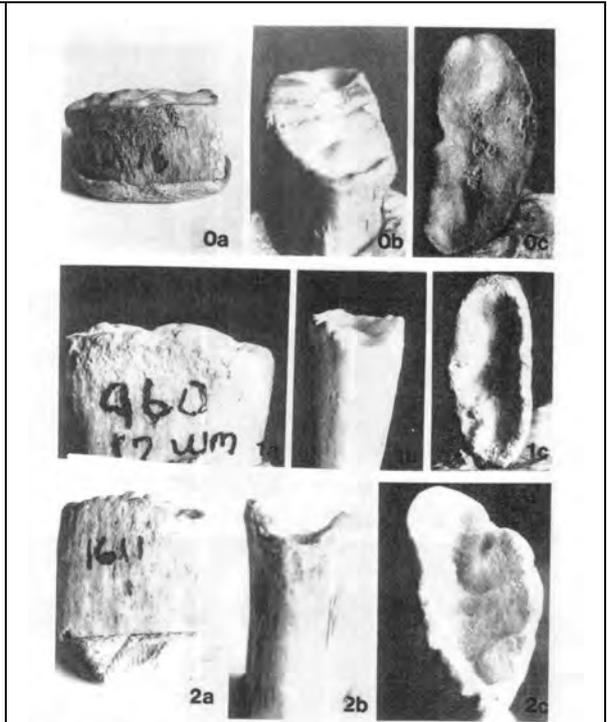


PLATE 1—(PHASES 0-2): Phase 0—The smooth, regular, rounded rim shown in this frontal view (Fig. 0a) is typical of the adolescent rib. Note the billowy articular surface with no pit formation (Fig. 0b and c). Phase 1—Rim is still smooth and rounded, but is slightly wavier (Fig. 1a). Figure 1b and c show the initial indentation of the pit, along with some billowing still present on the articular surface. Phase 2—Figure 2a shows the scalloped rim with smooth rounded edges first seen in this phase. A side view of the U-shaped pit can be seen in Fig. 2b, while 2c shows the increased depth of the pit surrounded by thick walls.



PLATE 2—(PHASES 3-5): Phase 3—The rim is becoming more irregular with only a little scalloping remaining (Fig. 3a). The deepening pit has taken on a narrow U-shape with fairly thick walls and rounded edges (Fig. 3b and c). Phase 4—Regular scalloping pattern is gone from the increasingly irregular rim (Fig. 4a). Figure 4b and c show the moderately wide U-shaped pit with slightly thinner walls whose edges are still rounded. Phase 5—Rim is slightly more irregular (Fig. 5a). Note the deep, moderately wide U-shaped pit with thinner walls and sharper edges (Fig. 5b). Figure 5c shows evidence of porosity and some deterioration of bone inside the pit.

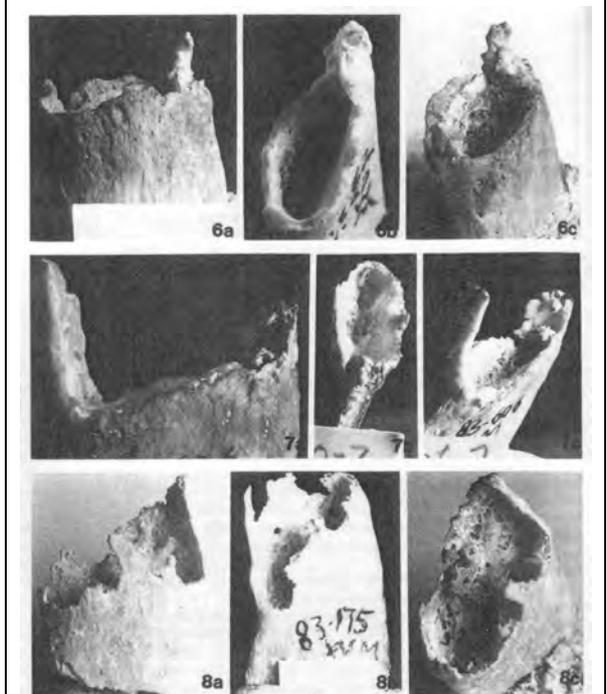


PLATE 3—(PHASES 6-8): Phase 6—Note the bony projections arising from the superior and inferior borders of the rib (Fig. 6a). Figure 6b and c show the noticeably deep, widely U-shaped pit, thinning walls, and sharper edges. Increased porosity and deterioration of bone can also be seen inside the pit. Phase 7—Figure 7a shows the irregular rim with long bony projections. Porous, deteriorating bone can be seen in a deep, widely U-shaped pit surrounded by noticeably thin, fragile walls with sharp edges (Fig. 7b and c). Phase 8—Figure 8a and b show the extremely irregular rim with sharp, brittle projections of bone. "Window" formation can be seen in Fig. 8b, along with the very thin walls surrounding a very deep pit. Bony projections can also be seen arising from the floor of the very widely U-shaped pit (Fig. 8c). The inside of the pit shows extreme porosity and obvious deterioration.

Figure 16 Changements morphologiques de l'extrémité sternale de la 4^{ème} côte chez le sujet caucasioïde* féminin selon les Plates 1 à 3 d'IŞCAN ET COLL. (⁹⁷)

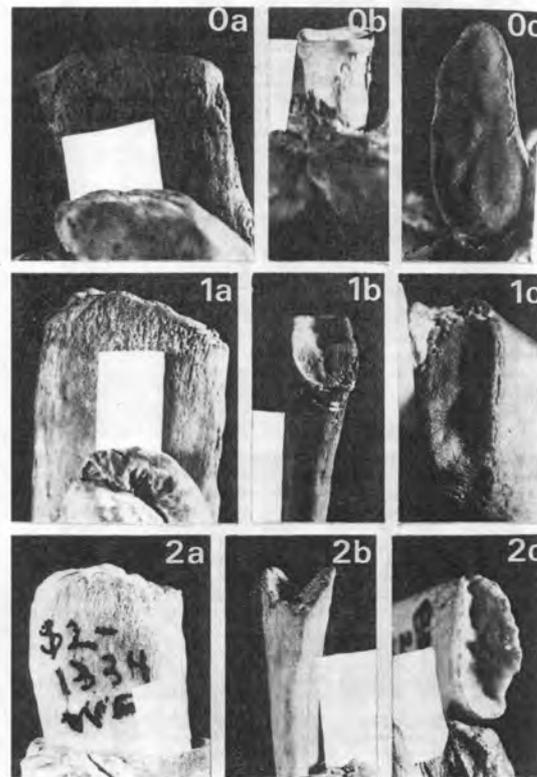


PLATE 1 (Phases 0-2)—Phase 0: The regular, rounded rim of the articular end is bordered externally by a bony overlay (Fig. 0a and b). The medial surface of the juvenile rib is ridged or billowy with no pit formation (Fig. 0c). Phase 1: The still smooth, rounded, rim is now slightly wavier (Fig. 1a). Initial pit indentation can be seen in Fig. 1b and c with billowing still present on the articular surface. Phase 2: The rounded, wavy rim is first beginning to show some scalloping forming at the edge (Fig. 2a). A side view of the now V-shaped pit is seen in Fig. 2b, while 2c illustrates the deepening pit surrounded by thick, smooth walls.



PLATE 2 (Phases 3-5)—Phase 3: The rounded rim now exhibits a pronounced, regular scalloping pattern (Fig. 3a). The still V-shaped pit has widened as the walls flare and thin slightly, but there is only a modest, if any, increase in depth (Fig. 3b and c). Phase 4: Figure 4a clearly shows the central arc. Scalloping remains at the still rounded rim, but the divisions are not as pronounced and the edges look somewhat worn down. The noticeably deeper, flared V- or U-shaped pit has again widened as the walls become thinner (Fig. 4b). Figure 4c shows a small plaque-like deposit beginning to form in the pit. Phase 5: No regular scalloping remains at the now sharpening edge of the increasingly irregular rim (Fig. 5a). The central arc is still present. Note the smooth plaque-like deposit covering most of the interior of the pit which is now a very flared V- or U- with appreciably thinner walls (Fig. 5b and c).

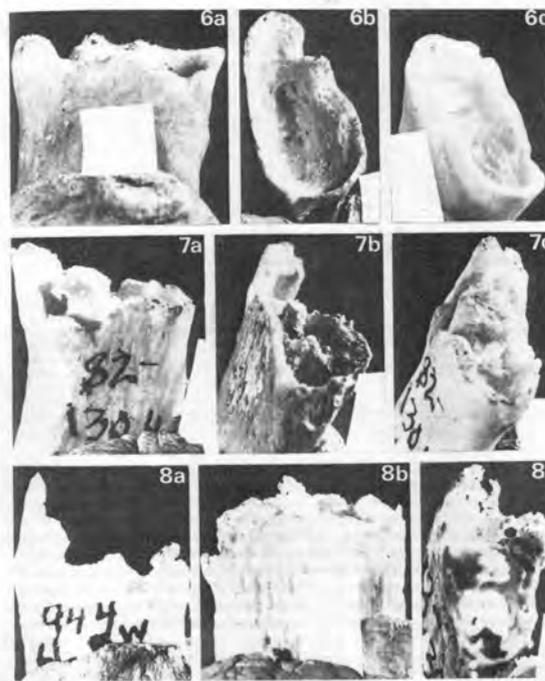


PLATE 3 (Phases 6-8)—Phase 6: The central arc is less obvious on the sharp rim which is starting to show irregular projections of bone (Fig. 6a). Figure 6b and c show the noticeably deeper, wider U-shaped pit, thinning walls along with roughening inside the pit. Porosity and deterioration of bone can also be seen inside the pit. Phase 7: Figure 7a shows the very sharp, irregular rim and nearly obscured central arc. The depth of the flared U-shaped pit appears slightly shallower than in the preceding phase. Bony projections can be seen arising from both the rim and floor of the pit, along with evident deterioration of the bone itself (Fig. 7b and c). Phase 8: Figure 8a shows the extremely sharp, irregular rim with brittle projections of bone now prominent at the superior or inferior margins or both of the rib. Projections are also seen extending from the floor of the pit (Fig. 8b). These bony processes can be seen nearly filling the widely U-shaped pit surrounded by very thin, badly deteriorated, porous walls with "window" formation (Fig. 8c).

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Ces auteurs reconnaissent cependant que la précision de cette méthode diminue avec l'âge : l'intervalle de confiance (95%) est de 1,5 ans pour la phase 1 et 13 ans pour la phase 8 chez l'homme (Tab. 6) et 3,8 ans pour la phase 2 et 11,9 ans pour la phase 8 chez la femme (Tab. 6).

Tableau 6 Précision de la méthode d'évaluation de l'âge d'après le stade morphologique de la 4^{ème} côte selon İŞCAN ET COLL. ⁽⁹⁶⁾ pour M, ⁽⁹⁷⁾ pour F)

TABLE 2—Statistics of phases.						
Phase	N	Mean	SD	SE	95% Confidence Interval	Age Range
1	4	17.3	0.50	0.25	16.5–18.0	17–18
2	15	21.9	2.13	0.59	20.8–23.1	18–25
3	17	25.9	3.50	0.85	24.1–27.7	19–33
4	12	28.2	3.83	1.11	25.7–30.6	22–35
5	14	38.8	7.00	1.93	34.4–42.3	28–52
6	17	50.0	11.17	2.71	44.3–55.7	32–71
7	17	59.2	9.52	2.31	54.3–64.1	44–85
8	12	71.5	10.27	2.97	65.0–78.0	44–85
Total	108	41.0	7.51	0.72	39.6–42.4	17–85

Chez l'homme

TABLE 2—Descriptive statistics of phases.						
Phase	N	Mean	SD	SE	95% Confidence Interval	Age Range, years
1	1	14.0				
2	5	17.4	1.52	0.68	15.5–19.3	16–20
3	5	22.6	1.67	0.74	20.5–24.7	20–24
4	10	27.7	4.62	1.46	24.4–31.0	24–40
5	17	40.0	12.22	2.96	33.7–46.3	29–77
6	18	50.7	14.93	3.52	43.3–58.1	32–79
7	16	65.2	11.24	2.81	59.2–71.2	48–83
8	11	76.4	8.83	2.66	70.4–82.3	62–90
Total	83	47.8	11.00	1.21	45.4–50.2	14–90

Chez la femme

Afin d'améliorer cette méthode, DIGANGI ET COLL. ⁽⁶⁰⁾ ont choisi d'utiliser la 1^{ère} côte : celle-ci est anatomiquement plus facilement discernable et elle subit moins de contraintes physiques durant la vie de l'individu (elle reflète ainsi mieux l'effet du seul vieillissement). Ces auteurs ont repris une classification par phases mais en observant, en plus de la tête costale, son tubercule et sa face costale. Ils ont appliqué à leur étude une approche statistique Bayésienne qui leur a permis d'évaluer l'âge au décès jusqu'à environ la 9^{ème} décennie, repoussant ainsi la limite d'estimation qui allait jusqu'à environ 70 ans pour la méthode d'İŞCAN ET COLL.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cependant DIGANGI ET COLL. reconnaissent que leur méthode doit être validée sur une plus grande échelle et en incluant aussi des sujets féminins.

4.2.3 Maturation* de la tête fémorale

CASTRIOTA-SCANDERBEG & DE MICHELI ⁽³⁹⁾ postulent dans leur étude que l'épaisseur du cartilage de la tête fémorale, mesuré antérieurement par ultrasonographie (US) (figure 1 de Fig. 17), est un indicateur valable tant de l'âge osseux (coefficient de corrélation* $r = -0,88$ pour 42 cas comparé à la méthode de maturation de Greulich & Pyle) que de l'âge chronologique ($r = -0,88$ pour 181 enfants âgés de 1,9 à 14ans)(figure 2 de Fig. 17).

Figure 17 Technique d'évaluation de l'épaisseur du cartilage de la tête fémorale en US et corrélation* entre les mesures et l'âge chronologique selon les Fig. 1 & 2 de CASTRIOTA-SCANDERBEG & DE MICHELI ⁽⁴⁰⁾

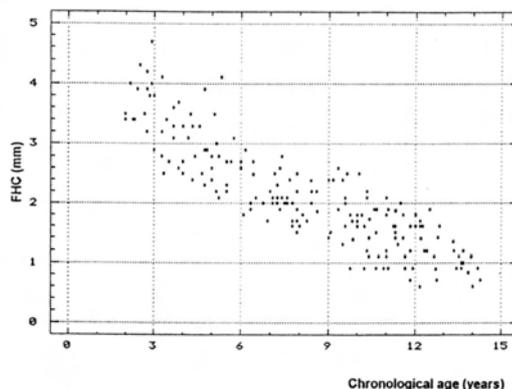
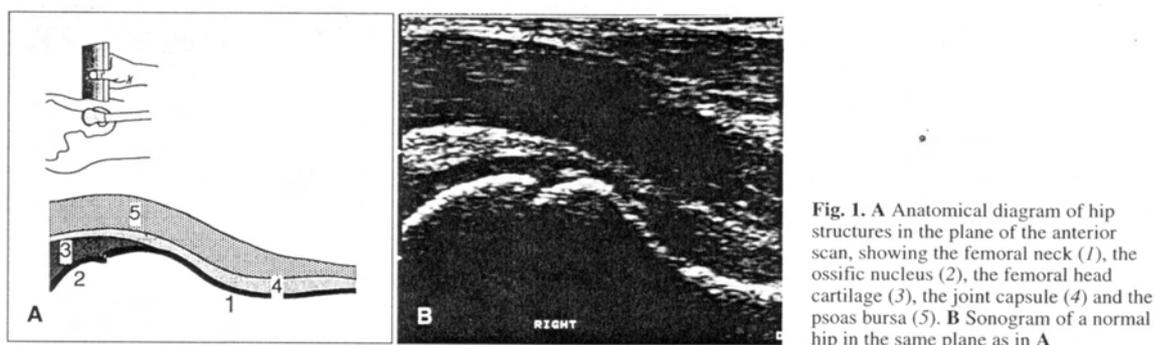


Fig. 2. Scatter plot of the two variables right femoral head cartilage thickness (FHC) and chronological age in 181 normal children. The negative correlation ($r = -0.88$) is highly significant ($p < 0.0001$)

Par ailleurs, une autre étude a montré que la précision de cette méthode peut être considérée comme cliniquement suffisante aussi bien pour la variabilité intra que inter-observateurs (variation maximum de 7,5 mois) ⁽⁴⁰⁾.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Bien que ces résultats (Fig. 18 : tableau 1 et figures 3 & 4) semblent prédictivement prometteurs, l'échantillon de l'étude est petit (si l'on tient compte

qu'il est divisé en 13 tranches d'âge d'un an chacune) et homogène. En conséquence, les auteurs considèrent que leurs conclusions peuvent ne pas être applicables à d'autres ethnies.

Figure 18 Résultats de l'étude de CASTRIOTA-SCANDERBEG & DE MICHELI ⁽⁴⁰⁾ illustrés par leurs tableau 1 et figures 3 & 4

Table 1. Range, mean value, standard deviation (SD) and 95th percentile for femoral head cartilage thickness as measured by ultrasound in 181 healthy children (in millimetres)

Femoral head cartilage thickness	Right	Left	Side difference ^a
Range	0.6–4.7	0.5–4.7	0–0.3
Mean	2.13	2.14	0.05
SD	0.92	0.92	0.07
95th percentile	–	–	0.20

^a Difference between left and right side measurements

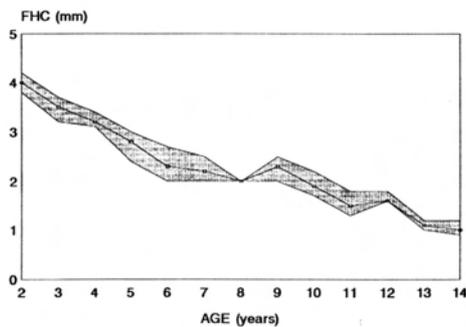


Fig. 3. Mean values and 25th and 75th percentiles of femoral head cartilage thickness (FHC) plotted against chronological age in boys

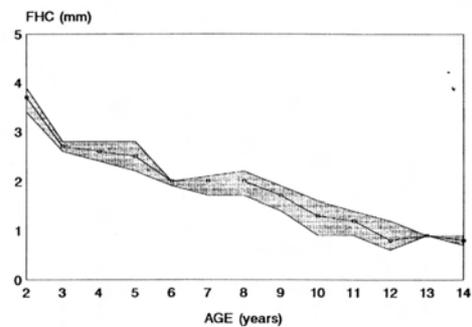


Fig. 4. Mean values and 25th and 75th percentiles of femoral head cartilage thickness (FHC) plotted against chronological age in girls

4.2.4 Maturation* de la crête iliaque

SCOLES ET COLL. ⁽²²³⁾, dans leur étude rétrospective de 1'236 adolescents (688 filles, 568 garçons âgés entre environ 10 et 18 ans), se sont basés sur l'état de maturation de la crête iliaque selon le signe radiologique de Risser (Fig. 19) et ont trouvé, en appliquant une méthode statistique classique (régression* linéaire simple), une bonne corrélation* de l'âge osseux avec l'âge chronologique : $r = 0,9$ (Fig. 19).

Figure 19 Signes radiologiques de Risser et résultat de l'étude illustrés respectivement par la Fig. 1 et les Tableaux 2 & 3 de SCOLES ET COLL. (223)

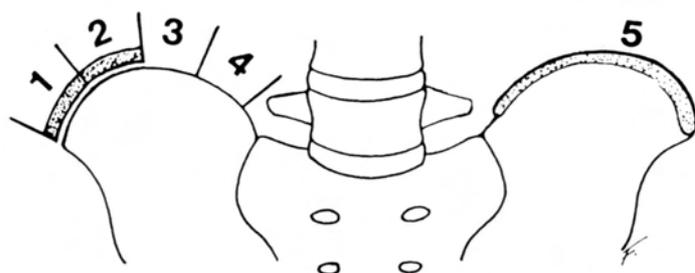


FIG. 1. Risser's sign: the sequential appearance and subsequent fusion of the iliac crest apophysis (11). (Reprinted from Moe JH, Winter RB, Bradford DS, Lonstein JE. *Scoliosis and other spinal deformities*. Philadelphia: W.B. Saunders, 1978, with permission.)

TABLE 2. Chronologic age (yrs, mo) by Risser's sign

Risser's sign	Girls			Boys			Difference in means (mo)	t Test value
	n	Mean	SD	n	Mean	SD		
1	53	13,8	1,1	39	15,2	1,2	18	5.9 ^a
2	71	14,3	1,0	58	15,11	1,2	20	8.3 ^a
3	65	14,7	0,11	40	16,3	1,4	20	6.4 ^a
4	171	16,0	1,2	102	16,11	1,11	11	6.4 ^a
5	114	16,11	1,3	93	18,0	0,9	13	7.3 ^a

^a Significant at $p < 0.05$.

TABLE 3. Skeletal age (yr, mo) by Risser's sign

Risser's sign	Girls			Boys			Difference in means (mo)	t Test value
	n	Mean	SD	n	Mean	SD		
1	53	13,8	0,8	39	14,7	0,7	11	5.7 ^a
2	71	14,6	0,8	58	15,7	0,6	13	10.0 ^a
3	65	15,2	0,7	40	16,2	0,7	12	7.0 ^a
4	171	16,2	0,8	102	17,0	0,7	10	9.1 ^a
5	114	18,1	1,0	93	18,6	0,7	4	3.0 ^a

^a Significant at $p < 0.05$.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Malgré ces résultats prometteurs, les auteurs relèvent que leur méthode ne s'applique qu'à la période de l'adolescence d'une part et que, d'autre part, étant basée sur le même échantillon de population que celui utilisé (en partie) par Greulich & Pyle pour leur étude originelle (voir 4.2.12.4 ci dessous), elle devrait être validée sur d'autres échantillons de population différents (status socio-économique, ethnie).

4.2.5 Maturation* de la clavicule

SCHMELING ET COLL. (216) ont étudié l'ossification de la partie sternale de la clavicule sur 699 radiographies de thorax d'un échantillon supposé représentatif de la population allemande (456 F / 243 M). Ils proposent une classification en 5 stades de maturation, le 5^{ème} représentant la disparition complète de la ligne de fusion épiphysaire (Fig. 20).

Figure 20 Les 5 stades de maturation de l'extrémité sternale clavulaire selon SCHMELING ET COLL. ⁽²¹⁶⁾



Fig. 1 Stage 2, male, 17.9 years old, detail of right clavicle from plain chest radiograph, the arrow shows the non-ossified epiphyseal cartilage



Fig. 2 Stage 3, female, 20.3 years old, detail of right clavicle from plain chest radiograph, the arrow shows the partially ossified epiphyseal cartilage

To assess the degree of ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage, the classification into four stages commonly applied in anatomical and radiological studies was applied as follows:

- Stage 1: the ossification centre has not yet ossified
- Stage 2: the ossification centre has ossified, the epiphyseal cartilage has not ossified (Fig. 1)
- Stage 3: the epiphyseal cartilage is partially ossified (Fig. 2)
- Stage 4: the epiphyseal cartilage is fully ossified (Fig. 3).

In the course of the present study it was observed that stage 4 lent itself to further morphological differentiation and a new criterion was added for consideration at stage 4: the visibility of the epiphyseal scar.

A fifth stage was then defined:

- Stage 5: the epiphyseal cartilage has fused completely and the epiphyseal scar is no longer visible (Fig. 4).



Fig. 3 Stage 4, male, 30.0 years old, detail of right clavicle from plain chest radiograph, the arrow shows the epiphyseal scar



Fig. 4 Stage 5, female, 30.3 years old, detail of right clavicle from plain chest radiograph, the epiphyseal scar has disappeared

Ils ont pu noter que: pour les deux sexes le stade 5 est atteint à 26 ans; le stade 4 est visualisable au plus tôt à 20 ans chez les femmes et 21 ans chez les hommes; le stade 3 est visualisable dès 16 ans pour les deux sexes. Ils relèvent aussi l'importance de la réalisation d'une seconde incidence* radiologique oblique en cas de superposition trop importante d'autres structures anatomiques sur la clavicule sur le cliché standard en incidence* PA*.

L'évaluation du stade d'ossification de l'épiphyse sternale claviculaire a été étudiée par de nombreux auteurs au moyen d'examens tomodensitométriques (TDM ou CT-scan*).

En 1998, KREITNER ET COLL. ⁽¹¹¹⁾ ont étudié les images TDM de 380 sujets d'âges connus (1 à 29 ans : 151 F et 229 M) selon les 4 premiers stades de maturation de l'extrémité médiale de la clavicule (voir plus haut). Leurs observations (Tab. 7, table 1), comparables à celles d'autres auteurs mais avant l'avènement de la TDM (Tab. 7, table 2), permet de déterminer une distribution normale de l'âge en fonction de ces 4 stades avec un intervalle de confiance de 95% (Tab. 7, figure 5). Mis à part quelques petites différences entre les études du tableau 2 dues à des difficultés méthodologiques (comme la présence de tissus mous sur les pièces anatomiques), il est possible de préciser, apparemment indépendamment du sexe, de l'ethnie et de facteurs exogènes (alimentation, facteur séculaire*, état socio-économique) qu'une clavicule au stade 4 correspond à un âge très probablement supérieur à 22 ans (la probabilité d'avoir 20 ans au stade 4 est inférieure à 0,1% avec un intervalle de confiance IC de 95%).

Tableau 7 Observations de KREITNER ET COLL. entre les 4 stades de maturation claviculaire et l'âge (leur Tab. 1), le résultats d'autres études antécédentes (leur Tab. 2) reportées par KREITNER ET COLL. ⁽¹¹¹⁾ et enfin la distribution normale de l'âge avec intervalle de confiance de 95% pour chacun des 4 stades selon leur Fig. 5.

Table 1. Age distribution of individuals by the stage of maturation of the medial clavicular epiphysis ($n = 380$)

Age (years)	Stage 1 n (%)	Stage 2 n (%)	Stage 3 n (%)	Stage 4 n (%)	Total
0-4	18 (100%)	-	-	-	18
5-9	22 (100%)	-	-	-	22
10	7 (100%)	-	-	-	7
11	7 (83%)	1 (17%)	-	-	7
12	5 (100%)	-	-	-	5
13	8 (73%)	3 (27%)	-	-	11
14	5 (38%)	8 (62%)	-	-	13
15	2 (11%)	16 (89%)	-	-	18
16	1 (5%)	16 (84%)	2 (11%)	-	19
17	-	9 (69%)	4 (31%)	-	13
18	-	10 (59%)	7 (41%)	-	17
19	-	5 (25%)	15 (75%)	-	20
20	-	1 (5%)	21 (95%)	-	22
21	-	-	15 (100%)	-	15
22	-	1 (6%)	14 (88%)	1 (6%)	16
23	-	-	12 (55%)	10 (45%)	22
24	-	-	6 (30%)	14 (70%)	20
25	-	-	5 (15%)	29 (85%)	34
26	-	-	2 (7%)	25 (93%)	27
27	-	-	-	17 (100%)	17
28	-	-	-	23 (100%)	23
29	-	-	-	13 (100%)	13
Total	75 (20%)	70 (18%)	103 (27%)	132 (35%)	380

Table 2. Survey of the most comprehensive studies dealing with the development of the medial clavicular epiphysis

Study group (year)	Sample size	Males	Females	Age (years)	Ethnic group	Method	Ossification of medial epiphysis (age in years)	Partial union (age in years)	Complete union onset (age in years)	Complete union in 100% of the sample (age in years)
Todd, D'Errico (1928)	166	130	36	17-29	White, Black, USA	Anatomic preparation	n. d.	19-27	22	28
Flecker (1933)	437	206	231	11-26	Australasians	Chest X-rays ^a	11-26	n. d.	22	26
Galstaun (1937)	654	446	209	12-25	Bengalis	Chest X-rays ^a	12-19	n. d.	19 ^b	25 ^b
McKern, Stewart (1957)	374	374	-	17-31	White, USA, death during Korean war	Anatomical section	n. d.	18-30	23	31
Jit, Kulkarni (1976)	684	391	193	11-30	North Indians	Chest X-rays	11-19	18-24	22	25
Owings Webb, Myers Suchey (1985)	859	605	254	11-40	White, Black, Latin Americans, USA	Anatomical section	16-21	17-33	21	34
Present study (1997)	380	229	151	0-29	White, Europe	Thoracic CT	11-22	16-26	22	27

^a no documentation of X-ray findings

^b no differentiation between partial and complete fusion

n. d. no data available

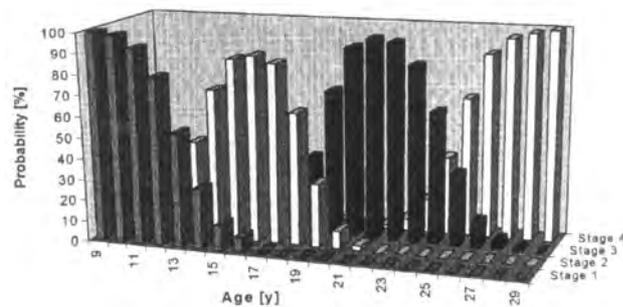


Fig. 5. Calculation of stage-related standardized age distributions and 95%-reference intervals

D'autres auteurs ont utilisés les 5 stades établis par SCHMELING ET COLL. en 2004. Ainsi, SCHULZE ET COLL. ⁽²²⁰⁾ ont pu montrer un excellent accord entre la technique radiographique standard et la TDM : 97 cas classés de la même manière sur 99 et pour les 2 cas discordants, la TDM donnait un stade 2 alors que la radiographie suggérait un stade 3. Par contre la TDM est considérée par ces auteurs comme plus performante car elle a permis l'évaluation de tous les cas de l'échantillon (114) alors que les radiographies n'étaient pas interprétables pour 14 cas (soit 13%). SCHULZE ET COLL. ont décrit l'aspect TDM des 5 stades de maturation de cette épiphyse et conclu que cette dernière était le mieux visualisée en fenêtre osseuse (Fig. 21 A) ⁽²²²⁾ et MÜHLER ET COLL. ⁽¹⁶⁶⁾ ont démontré la nécessité d'utiliser la meilleure résolution (acquisition à 1mm et reconstruction de 1mm) sous peine de surévaluer le stade d'un sujet à son détriment (Fig. 21 B).

Figure 21 A) Aspect TDM des stades de maturation claviculaire d'après SCHULZE ET COLL. ⁽²²²⁾ et B) effet de l'épaisseur de coupe sur l'évaluation du stade d'après MÜHLER ET COLL. ⁽¹⁶⁶⁾

A

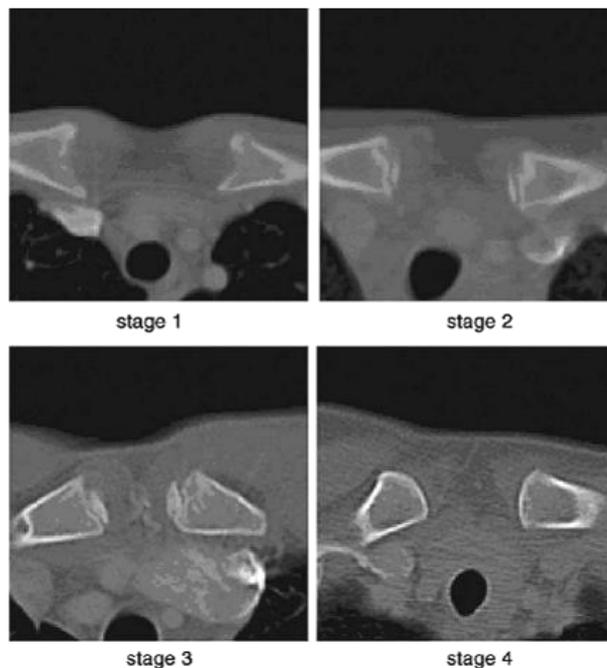
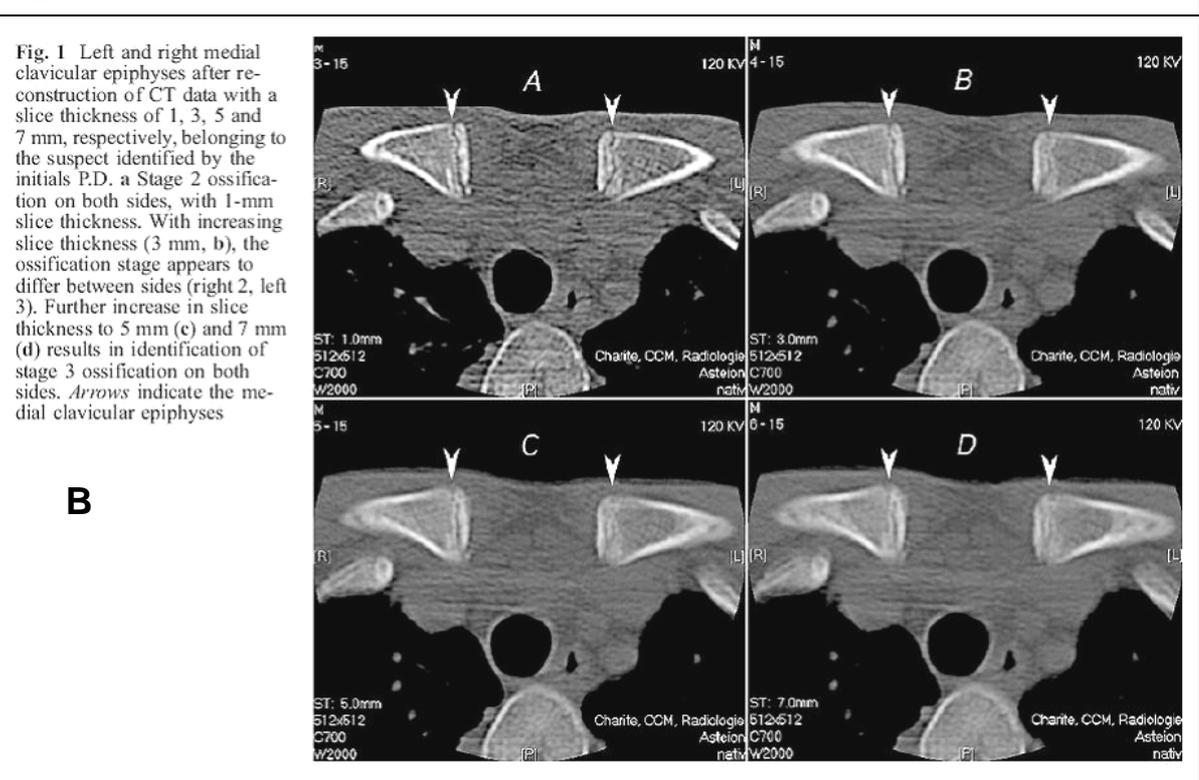


Fig. 1. CT slice images from the actual study representing the following stages: stage 1, no signs of epiphyseal ossification centers; stage 2, epiphyseal ossification centres without signs of bridging; stage 3, epiphyseal ossification with bridging; stage 4, complete bony fusion of epi- and metaphysis.

Figure 21 B) effet de l'épaisseur de coupe sur l'évaluation du stade d'après MÜHLER ET COLL. (166)



Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Si elle est réalisée avec la radiographie de thorax, cette technique nécessite l'absence de trop importantes superpositions de structures anatomiques sur les extrémités sternales des clavicules sinon des clichés complémentaires sont nécessaires. Cette possible difficulté technique est abolie en cas d'utilisation de la TDM* mais cela au détriment d'une irradiation plus importante du patient, surtout parce que l'acquisition doit se faire en coupes fines.

L'intérêt de la méthode est d'affirmer un âge adulte (21 ans) chez le sujet vivant lorsque le dernier stade de maturation est atteint.

4.2.6 Maturation* des vertèbres cervicales

Sur la base de l'index de maturité squelettique de Fishman (SMI*, 11 stades visibles sur une radiographie du poignet, Fig. 22) et de l'observation de la morphologie des vertèbres cervicales C2 à C4 de 220 sujets (110 filles et 110 garçons âgés de 8 à 18 ans), HASSEL & FARMAN (88) ont déterminé 6 stades de maturation cervicale (CVMI*, Fig. 23) avec une excellente reproductibilité (différences intra- et inter-observateurs minimales).

Figure 22 Les 11 stades de maturité squelettique de Fishman tels que reporté par GARCÍA-FERNANDEZ ET COLL. ⁽⁷⁵⁾

The hand-wrist radiographs were evaluated with a system developed by Fishman,⁶ which uses four stages of bone maturation found at six sites located on the thumb, third finger, fifth finger, and radius (Fig. 1A). Eleven adolescent skeletal maturation indicators (SMI) are found on these six sites (Fig. 1B). The sequence of four ossification stages includes epiphyseal widening, ossification of the sesamoid of the thumb, capping of selected epiphyses over their diaphyses, and fusion of selected epiphyses and diaphyses (Fig. 1C).

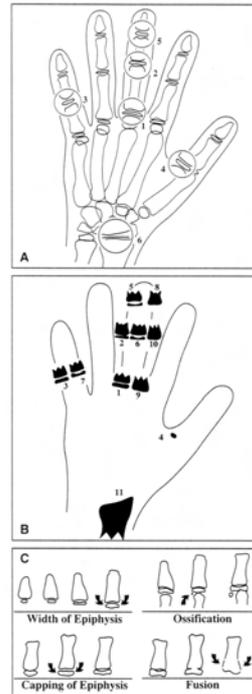


Fig. 1 A. Sites of bone maturation. B. Skeletal maturation indicators. C. Stages of ossification. (From Fishman, L.: Radiographic evaluation of skeletal maturation, a clinically oriented study based on hand-wrist films, Angle Orthod. 52:88-112, 1982. Reprinted by permission.)

Figure 23 Les 6 stades de maturité cervicale (CVMI) selon HASSEL & FARMAN ⁽⁸⁸⁾

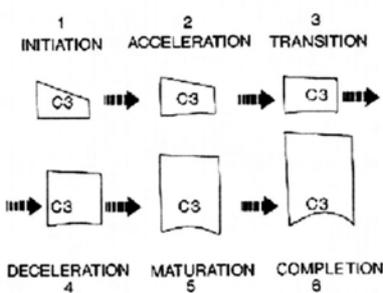


Table I. Cervical vertebrae maturation indicators

1. Initiation	Very significant amount of adolescent growth expected C2, C3, and C4 inferior vertebral body borders are flat Superior vertebral borders are tapered posterior to anterior
2. Acceleration	Significant amount of adolescent growth expected Concavities developing in lower borders of C2 and C3 Lower border of C4 vertebral body is flat C3 and C4 are more rectangular in shape
3. Transition	Moderate amount of adolescent growth expected Distinct concavities in lower borders of C2 and C3 C4 developing concavity in lower border of body C3 and C4 are rectangular in shape
4. Deceleration	Small amount of adolescent growth expected Distinct concavities in lower borders of C2, C3, and C4 C3 and C4 are nearly square in shape
5. Maturation	Insignificant amount of adolescent growth expected Accentuated concavities of inferior vertebral body borders of C2, C3, and C4 C3 and C4 are square in shape
6. Completion	Adolescent growth is completed Deep concavities are present for inferior vertebral body borders of C2, C3, and C4 C3 and C4 heights are greater than widths

Skeletal Maturity by Fishman Index

1-2
3-4
5-6
7-8
9-10
11

GARCÍA-FERNANDEZ ET COLL. ⁽⁷⁵⁾ ont pu montrer dans leur étude (50 garçons et 63 filles d'origine mexicaine et âgés entre 9 et 18 ans) une excellente concordance entre le SMI* et le CVMI* et comme des résultats similaires sont retrouvés dans d'autres populations, ils suggèrent que cette technique est indépendante de l'origine ethnique. Enfin, KUCUKKELES ET COLL. ⁽¹¹²⁾, en appliquant les mêmes critères d'évaluation que les auteurs précédents, confirment pour 99 filles et 81

garçons turcs âgés entre 8 et 18 ans la bonne corrélation* entre le CVMI* et le SMI*.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Malheureusement, ces stades n'ont pas été corrélés à l'âge, ils servent plutôt à exprimer le potentiel de croissance résiduel d'un sujet en croissance (Tab. 8). HASSEL & FARMAN soulignent la nécessité d'utiliser cet outil diagnostic avec d'autres méthodes d'analyse.

<p>Tableau 8 Potentiel de croissance résiduel en fonction du CVMI d'après le Tab. 2 de GARCÍA-FERNANDEZ ET COLL. ⁽⁷⁵⁾</p>	<p style="text-align: center;">TABLE 2 CORRELATION OF HAND-WRIST AND CERVICAL VERTEBRAL MATURATION STAGES</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Hand-Wrist SMI⁶</th> <th style="text-align: left;">Cervical Vertebral Stage²⁵</th> <th style="text-align: left;">Percentage of Pubertal Growth Remaining</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-2</td> <td>1. Initiation</td> <td>85-100%</td> </tr> <tr> <td>3-4</td> <td>2. Acceleration</td> <td>65-85%</td> </tr> <tr> <td>5-6</td> <td>3. Transition</td> <td>25-65%</td> </tr> <tr> <td>7-8</td> <td>4. Deceleration</td> <td>10-25%</td> </tr> <tr> <td>9-10</td> <td>5. Maturation</td> <td>5-10%</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>6. Completion</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Hand-Wrist SMI ⁶	Cervical Vertebral Stage ²⁵	Percentage of Pubertal Growth Remaining	1-2	1. Initiation	85-100%	3-4	2. Acceleration	65-85%	5-6	3. Transition	25-65%	7-8	4. Deceleration	10-25%	9-10	5. Maturation	5-10%	11	6. Completion	0%
Hand-Wrist SMI ⁶	Cervical Vertebral Stage ²⁵	Percentage of Pubertal Growth Remaining																				
1-2	1. Initiation	85-100%																				
3-4	2. Acceleration	65-85%																				
5-6	3. Transition	25-65%																				
7-8	4. Deceleration	10-25%																				
9-10	5. Maturation	5-10%																				
11	6. Completion	0%																				

4.2.7 Maturation* des sutures du crâne

THOMAS ET COLL. ⁽²⁴⁷⁾ rapportent la possibilité d'utiliser les sutures crâniennes (lambdoïdes et inter-pariétales) et la synchondrose sphéno-occipitale comme moyen, reconnu toutefois peu fiable, de détermination de l'âge. Ce qui semble certain est que leur fermeture débute vers l'âge de 20 ans.

DORANDEU ET COLL. ⁽⁶²⁾ ont étudié la corrélation* entre l'âge et le stade de fermeture de la suture sphénoïdo-frontale. Leur méthode se base sur l'observation macroscopique endo- et exo-crânienne sur pièce sèche. Ces auteurs estiment leur méthode fiable d'abord car elle est reproductible et aussi car de leur modèle statistique (régression*) ne résulte qu'une erreur moyenne de 1,5 ans.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cependant leur méthode ne paraît pas être applicable à l'évaluation de l'âge en raison de la faible précision de prédiction : 23 ans. Il est par ailleurs intéressant d'observer que dans leurs références bibliographiques, la plupart des articles datent des années 1930 et 1970-80 peut être car les méthodes d'évaluations se basant sur ce critère, qu'elles soient macroscopique ou radiologique, ont dû être

considérées comme trop variables (trop dépendantes de facteurs vasculaires, hormonaux, génétiques ou de facteurs locaux?).

4.2.8 Maturation* des épiphyses distales (poignet, cheville)

BANERJEE & AGARWAL ⁽¹⁵⁾ se sont contenté d'évaluer l'âge par rapport à deux dates importantes pour la médecine légale: 16 ans (majorité sexuelle) et 18 ans (majorité civile). Pour ce faire, ils ont observé le degré de fusion (complet ou incomplet) des épiphyses distales des os longs du poignet (radius, ulna) et de la cheville (tibia, fibula) sur des clichés radiologiques de 90 filles et 90 garçons indiens âgés entre 14 et 20 ans et vivant à Dehli. Ils ont trouvé que : il n'y a pas de différence de maturation dans le temps entre la droite et la gauche d'un sujet; 100% des filles montrent une fusion complète à la cheville entre 16 et 17 ans et au poignet entre 18 et 19 ans; 100% des garçons montrent une fusion complète à la cheville entre 17-18 ans et au poignet entre 19-20 ans.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s):

Ces auteurs relèvent que la maturation des Indiens de leur étude est plus précoce que celle d'Indiens d'autres régions ou de Caucasoïdes européens ou américains (Tab. 9) et ils attribuent cette différence, sans le démontrer, à des facteurs climatiques, alimentaires, d'hérédité, ethniques, environnementaux, géographiques et séculaires*.

Tableau 9 Différences de maturation d'après le Tab. 2 de BANERJEE & AGARWAL ⁽¹⁵⁾

Sl. no.	Research worker	Population studied	Age of epiphyseal union at the lower ends of							
			Radius		Ulna		Tibia		Fibula	
			Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
01.	Galstaun (1937) [6]	West Bengal	18 years	16-17 years	18 years	16-17 years	14.4 years	14 years	14-16 years	13-15 years
02.	Saxena and Vyas (1969) [12]	Madhya Pradesh	19-20 years	17-18 years	19-20 years	17-18 years	-	-	-	-
03.	Lall and Townseed (1939) [8]	Uttar Pradesh	-	19 years	-	19 years	-	-	-	-
04.	Narayan and Bajaj (1957) [10]	Uttar Pradesh	-	-	-	-	-	-	15 years	15 years
05.	Kothari (1974) [13]	Rajasthan	18-19 years	17-18 years	18-19 years	17-18 years	-	-	-	-
06.	Dalal (1981) [14]	Haryana	18-19 years	17-18 years	18-19 years	17-18 years	-	-	-	-
07.	Basu and Basu (1938) [7]	Bengal	-	16-17 years	-	16-17 years	-	14-15 years	-	15 years
08.	Agarwal and Pathak (1957) [9]	Punjab	-	-	-	-	13.75 years-15 years	13.75 years-15 years	13.75 years-15 years	13.75 years-15 years
09.	Hepworth (1929) [2]	Indians	-	-	-	-	16.5 years-17.5 years	16.5 years-17.5 years	17-18 years	17-18 years
10.	Pillai (1936) [5]	South India	-	-	-	-	14 years	14 years	17 years	17 years
11.	Bajaj et al. (1967) [11]	Delhi	17.6 years	16.4 years	17.6 years	15.8 years	-	-	-	-
12.	Pryor (1928) [1]	America	20 years	19 years	19 years	16 years	-	-	-	-
13.	Paterson (1929) [3]	England	21 years	20 years	21 years	20 years	18-19 years	16-17 years	-	-
14.	Flecker (1932) [4]	Australia	19 years	18 years	19 years	17 years	17 years	14 years	17 years	14 years
15.	Present study	Delhi	19-20 years	18-19 years	19-20 years	18-19 years	17-18 years	16-17 years	17-18 years	16-17 years

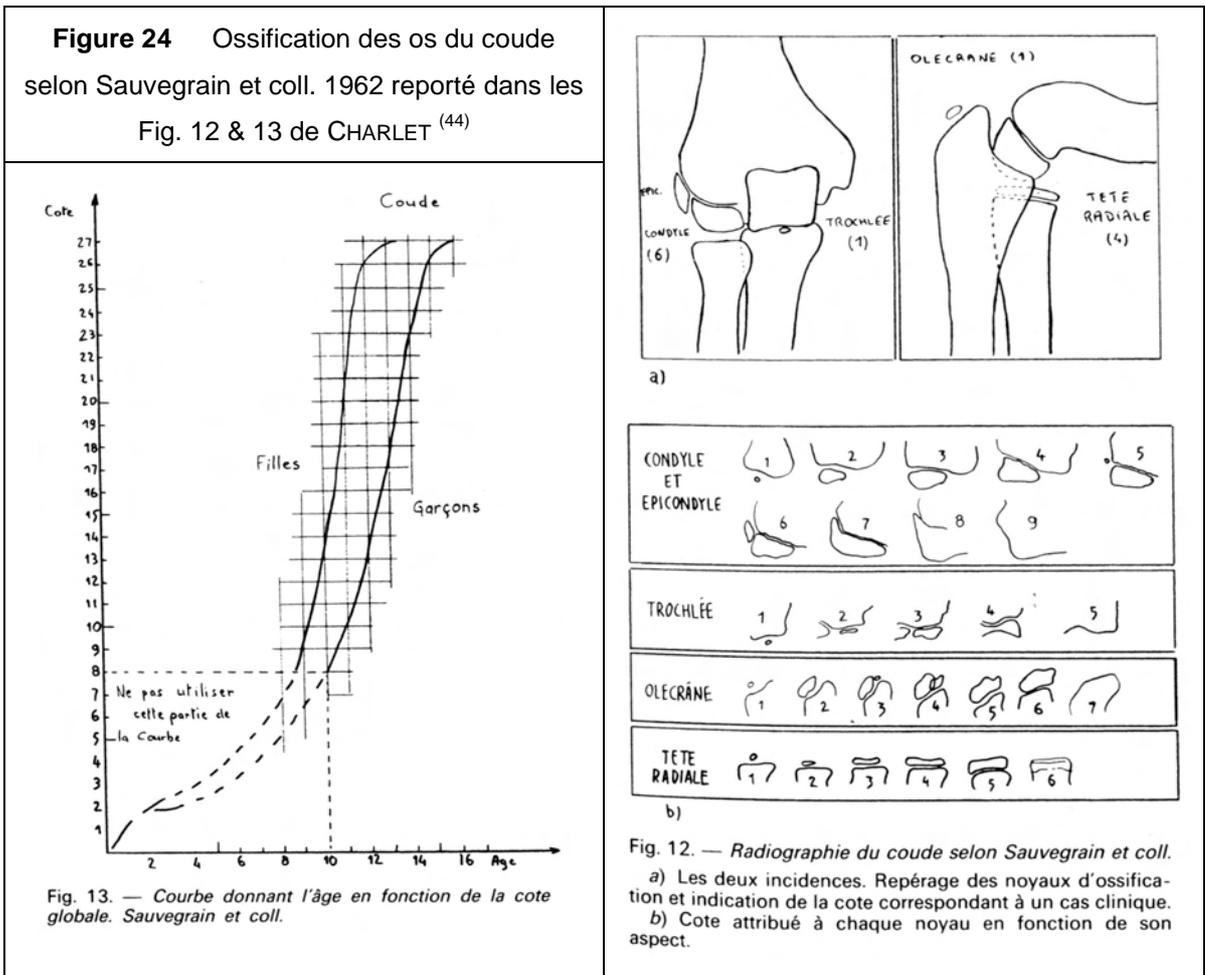
4.2.9 Maturation* des os du coude

CHARLET ⁽⁴⁴⁾ fait référence dans son article à l'évaluation de l'âge osseux, entre 10 et 15 ans, au moyen de la maturation des os du coude (Fig. 24). Dans cette

méthode, chaque os reçoit une cotation selon son degré de maturité et la somme des cotes appliquée à un graphique donne l'âge osseux.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Une limite évidente de cette méthode semble être le laps de temps pendant lequel elle peut s'utiliser, à savoir de la fin de l'enfance à la première partie de l'adolescence.



4.2.10 Maturation* de l'os sésamoïde du pouce

L'apparition de l'os sésamoïde du pouce est un indicateur biologique : par exemple, PROKOPEC ET COLL. (195) ont trouvé que le début de son ossification survenait chez 95% des filles en moyenne 1,8 ans avant le ménarche* (qui survient vers 13 ans) de leur échantillon de la population tchèque, pour 95% des garçons cette ossification était apparue à l'âge de 16 ans.

Plus récemment CHAUMOÏTRE ET COLL. (45) ont montré, sur un échantillon de 592 filles et 780 garçons (français et d'âges 0,4-19,7 ans) à l'aide d'une analyse par régression logistique (méthode des probits), la grande variabilité de l'apparition de

cet os sur les radiographies (8,8-15,2 ans pour la fille avec $P_{50}=10,2$ ans et 10-15,1 ans pour le garçon avec $P_{50}=12,1$ ans). Ces valeurs et leur dispersion sont bien différentes de celles annoncées dans la méthode de Greulich & Pyle (11 ans pour la fille et 13 ans pour le garçon).

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

En somme, pour ces auteurs, au mieux l'os sésamoïde du pouce, comme seul indicateur, sert de ligne de démarcation entre l'enfance et l'adolescence. Ainsi, ils préconisent son usage qu'avec d'autres méthodes d'évaluation de l'âge osseux.

Et c'est la démarche d'ISIEKWE⁽⁹⁹⁾ qui a combiné l'âge d'apparition du sésamoïde du pouce avec une analyse des centres d'ossification des os de la main (selon Buckler 1972) sur des radiographies de mains d'enfants africains du Niger. Cet auteur n'a pas retrouvé de différences notoires entre les âges de maturation de son échantillon et ceux provenant d'enfants et adolescents caucasoïdes relevés dans la littérature (Pyle et coll. 1971, Buckler 1977, Tanner et coll. 1962 et 1975) ce qui invalide pour lui la notion jusqu'alors répandue d'une maturation osseuse différente (et plus précoce) chez l'africain (par exemple l'apparition du sésamoïde a eu lieu vers 12 ans chez la fille et 14 ans chez le garçon nigérian). Cependant cette dernière étude, bien qu'intéressante, souffre de la trop petite taille de son échantillon (28 F, 22 M entre 6 et 18 ans) pour pouvoir servir de référence.

4.2.11 Maturation* des os du carpe et des métacarpes

RUNDLE & DOLLIMORE⁽²¹⁰⁾ ont étudié la maturation osseuse chez des sujets atteints du syndrome de Coffin-Siris* (entre autre, petite taille avec tentative de compensation par apposition corticale) pour lesquels ils n'ont pas retrouvé de retard de maturation. Ces auteurs soulignent qu'il est préférable d'utiliser les métacarpes plutôt que les os du carpe car les premiers ont l'avantage d'être tubulaires et présentent (à la moitié de leur longueur diaphysaire) une section avec plus de cortex que de médullaire (meilleure absorption des rayons donc image plus contrastée et plus facile à analyser) et que ces os ne sont pas soumis au support du poids du sujet (contrairement aux os du membre inférieur). Ils relèvent encore l'intérêt d'utiliser la main non dominante afin d'éviter d'avoir à tenir compte de l'adaptation osseuse (épaississement cortical) consécutive à l'hypertrophie musculaire généralement présente dans la main dominante.

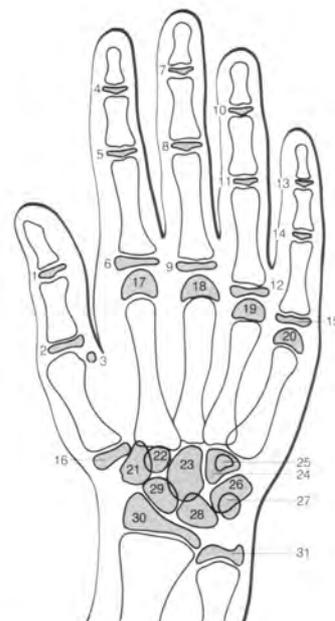
BAUGHAN ET COLL.⁽¹⁶⁾ ont comparé la technique TW-RUS (voir plus bas) et le degré de maturation des os du carpe (aussi par la méthode dite des scores, voir

plus bas). Les résultats se sont montrés plus variables avec les os du carpes qu'avec la technique TW-RUS et ces auteurs entrevoient comme explication que la maturation du squelette n'est en principe pas unidirectionnelle (par exemple, dans une même population la maturation n'est pas toujours au même stade entre les os du carpe et les os longs et l'effet de la malnutrition a été reporté comme ne s'exerçant pas de manière uniforme sur les différents os du corps) et la population de leur étude (des sujets franco-canadiens) n'est pas la même (sujets britanniques) que celle qui a servi pour établir la technique TW-RUS.

4.2.12 Maturation* des os du poignet et de la main

Dans leur très intéressant Atlas d'Orthopédie dentofaciale RAKOSI & JONAS ⁽¹⁹⁸⁾ rappellent l'anatomie radiologique topographique de cet région au moyen de l'illustration suivante :

Anatomie topographique des os de la main et du poignet Fig. 248 de RAKOSI & JONAS ⁽¹⁹⁸⁾



248 Anatomie topographique des os de la main et du poignet

- | | | | | | | | |
|---|--|----|--|----|---|----|-----------------------------------|
| 1 | épiphyse de la deuxième phalange du pouce | 7 | épiphyse de la troisième phalange du médius | 14 | épiphyse de la deuxième phalange de l'auriculaire | 21 | trapeze |
| 2 | épiphyse de la première phalange du pouce | 8 | épiphyse de la deuxième phalange du médius | 15 | épiphyse de la première phalange de l'auriculaire | 22 | trapezoïde |
| 3 | sésamoïde du muscle court adducteur en regard de l'articulation métacarpophalangienne du pouce | 9 | épiphyse de la première phalange du médius | 16 | épiphyse du premier métacarpien | 23 | grand os |
| 4 | épiphyse de la troisième phalange de l'index | 10 | épiphyse de la troisième phalange de l'annulaire | 17 | épiphyse du deuxième métacarpien | 24 | os crochu |
| 5 | épiphyse de la deuxième phalange de l'index | 11 | épiphyse de la deuxième phalange de l'annulaire | 18 | épiphyse du troisième métacarpien | 25 | apophyse unciforme de l'os crochu |
| 6 | épiphyse de la première phalange de l'index | 12 | épiphyse de la première phalange de l'annulaire | 19 | épiphyse du quatrième métacarpien | 26 | pyramidal |
| | | 13 | épiphyse de la troisième phalange de l'auriculaire | 20 | épiphyse du cinquième métacarpien | 27 | pisiforme |
| | | | | | | 28 | semi-lunaire |
| | | | | | | 29 | scaphoïde |
| | | | | | | 30 | épiphyse distale du radius |
| | | | | | | 31 | épiphyse distale du cubitus |

4.2.12.1 Selon Björk

CHARLET⁽⁴⁴⁾ évoque dans son article cette technique qui consiste à caractériser 9 points d'ossification en 3 stades, méthode qui est très bien illustrée par RAKOSI & JONAS (Fig. 25 & 26)⁽¹⁹⁸⁾.

Figure 25 Les 3 stades de maturation aux 9 points d'ossification retenus par Björk illustrés par la Fig. 249 de RAKOSI & JONAS⁽¹⁹⁸⁾

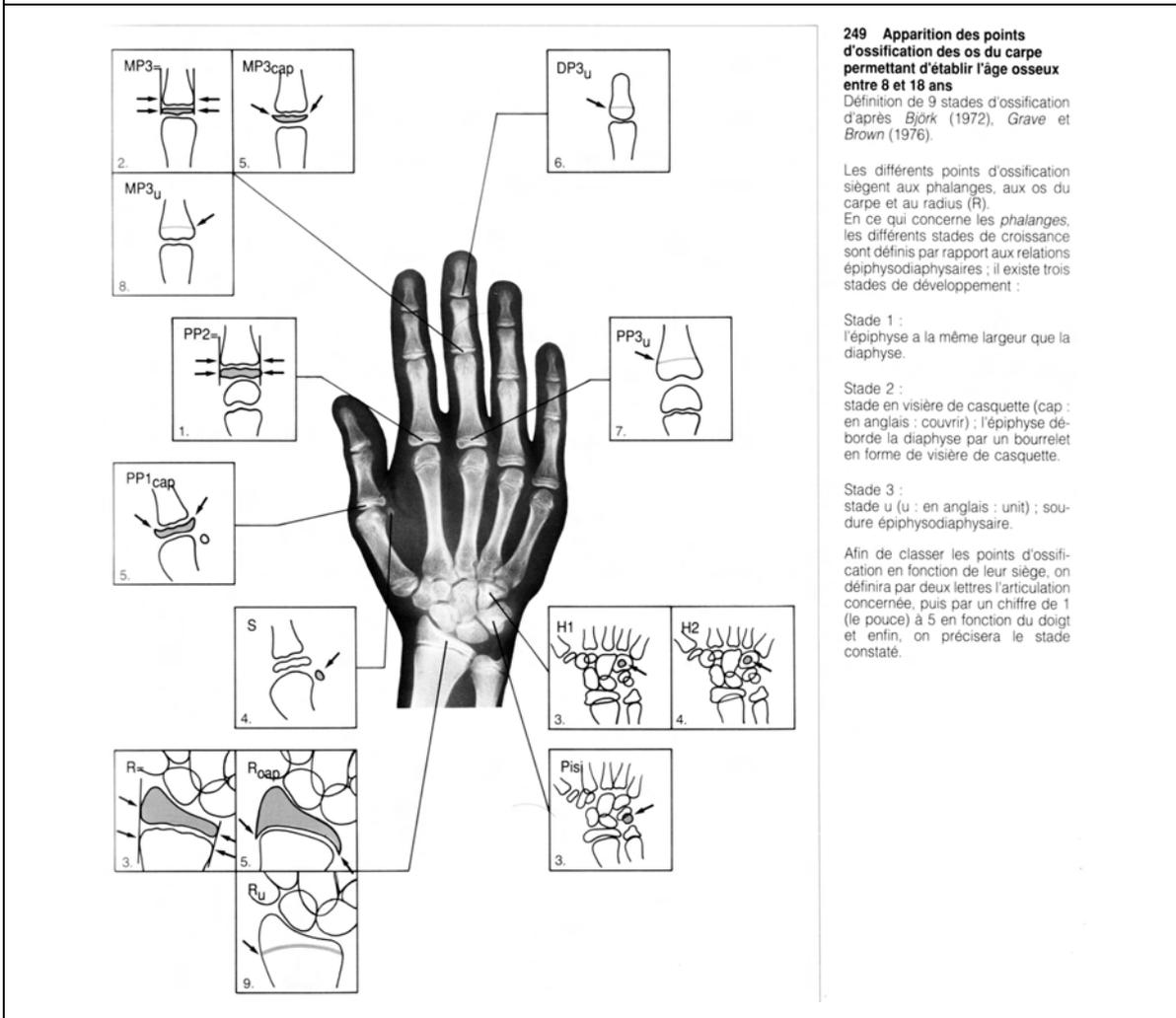
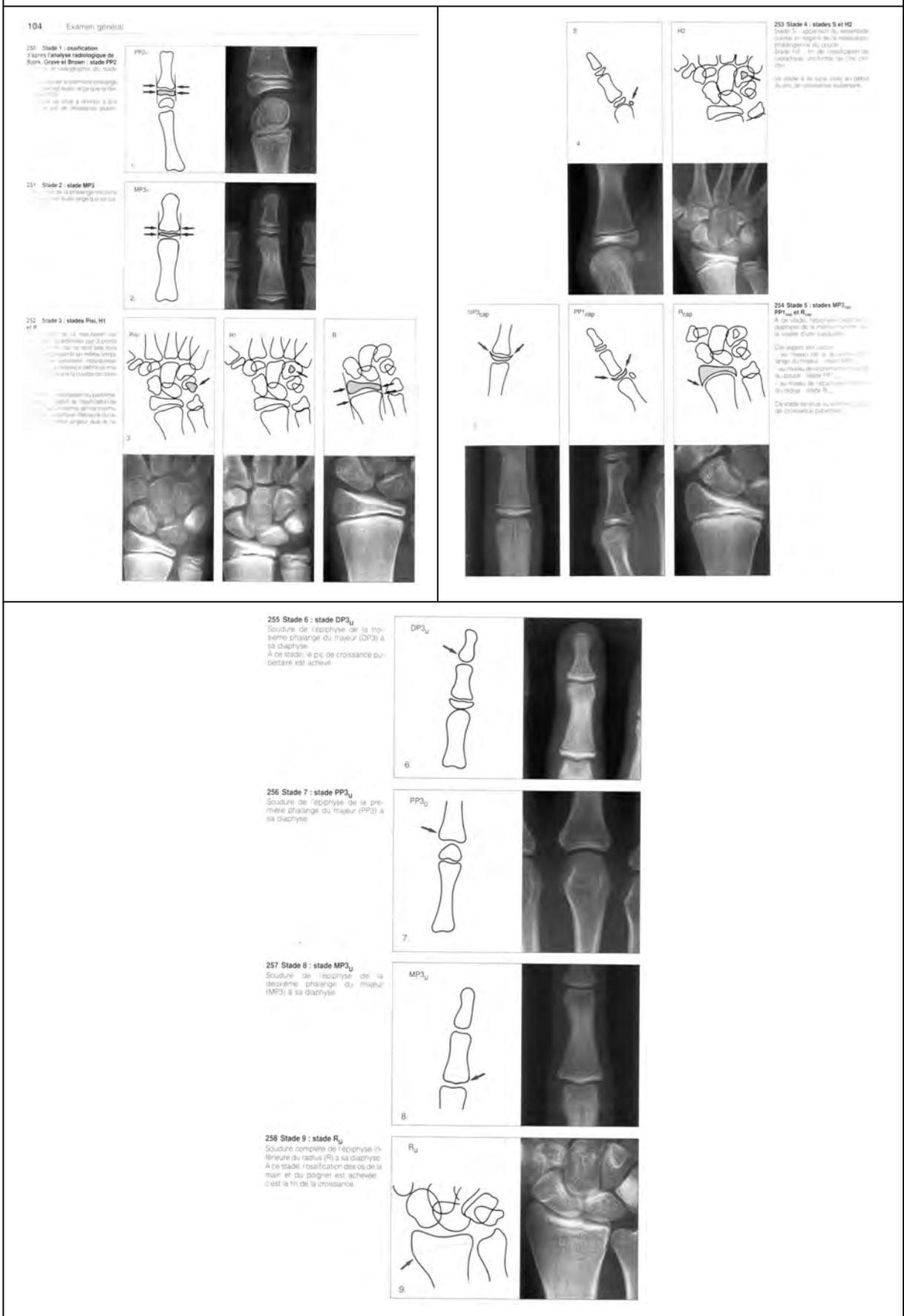
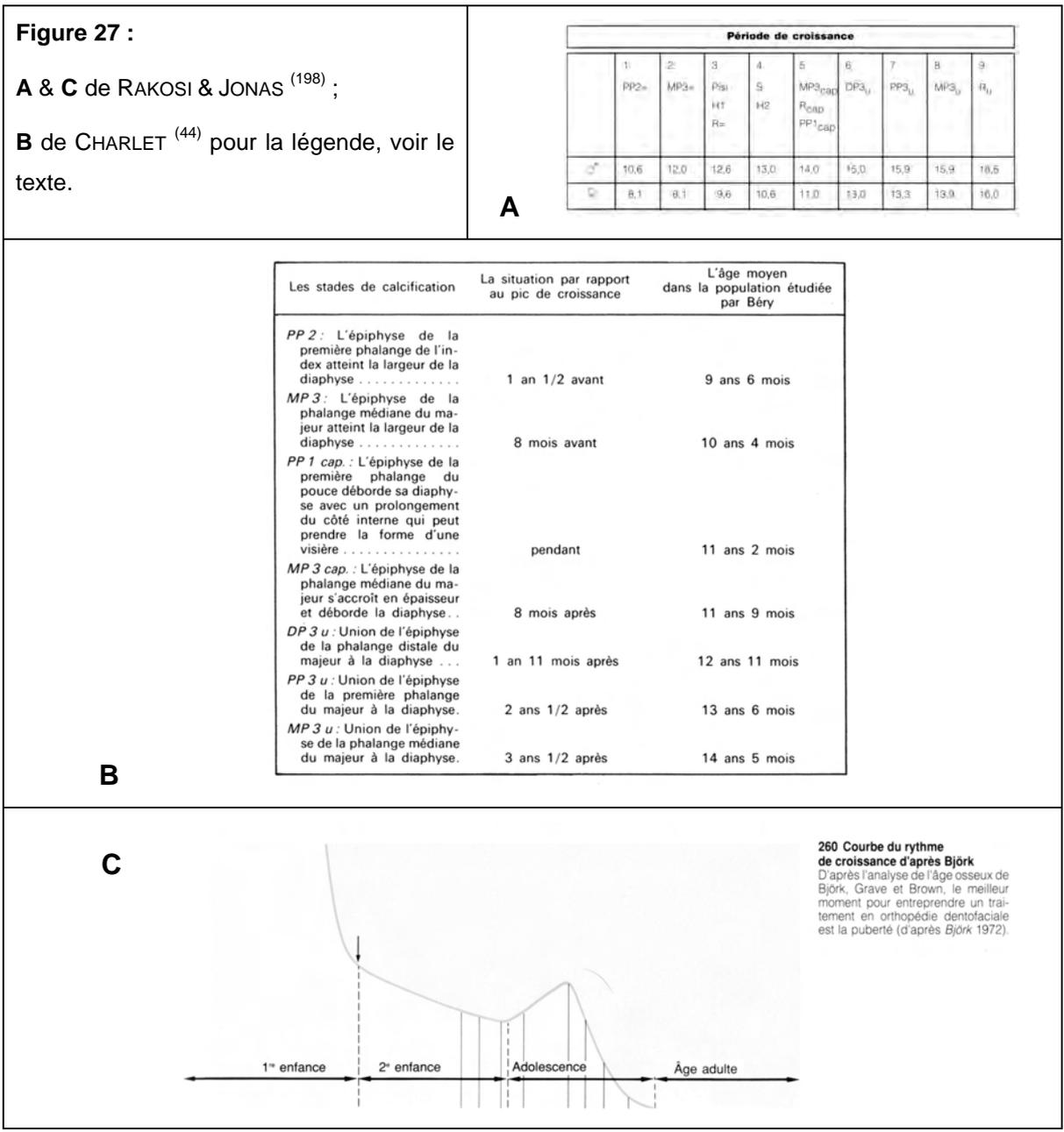


Figure 26 Détails de la méthode de Björk illustrés par les Fig. 250 à 258 de RAKOSI & JONAS (198)



L'intérêt de cette méthode réside dans la corrélation* entre les 3 stades de maturation des 9 points d'ossification et l'âge (chronologique pour CHARLET ⁽⁴⁴⁾ d'après Bery 1979, Tab.1 et osseux pour RAKOSI & JONAS ⁽¹⁹⁸⁾ d'après Schopf 1978, Fig. 259) ce qui permet de situer le pic de croissance* pubertaire (Fig. 260) entre 10 et 12 ans pour la fille et 12-14 ans pour le garçon. Une différence de ± 2 ans entre l'âge osseux et l'âge chronologique sera considérée comme un trouble du rythme de la croissance.



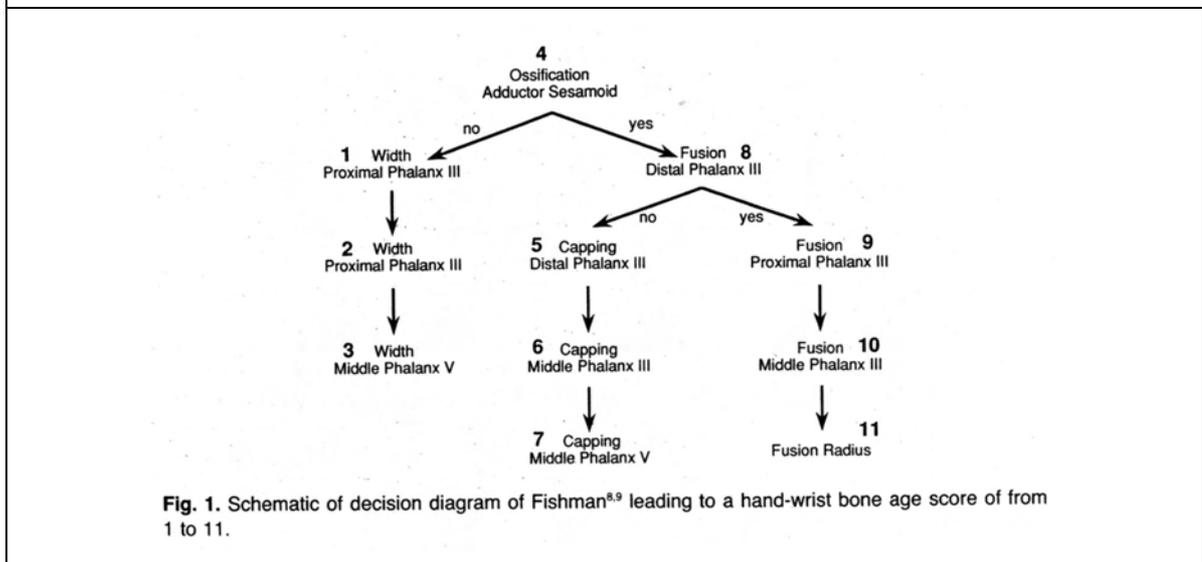
Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cette technique s'applique à la tranche d'âge 8-18 ans environ.

4.2.12.2 Selon Fishman

MAPPES ET COLL. ⁽¹⁵²⁾ reportent cette méthode constituée par l'établissement d'un diagramme en 11 stades de maturation en fonction de certains os (Fig. 28).

Figure 28 Diagramme décisionnel de Fishman rapporté dans la Fig. 1 de MAPPES ET COLL. ⁽¹⁵²⁾



Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cette technique semble avoir été élaborée pour permettre aux orthodontistes de fixer rapidement la situation du patient par rapport à son pic de croissance* plus que pour évaluer un âge chronologique.

4.2.12.3 Selon Schmidt et coll. 2008 ⁽²¹⁷⁾

Ces auteurs ont très récemment appliqué les 5 stades d'ossification épiphysaire proposés par SCHMELING ET COLL. (pour l'évaluation de l'âge à l'aide de la clavicule, voir plus haut) aux portions distales du radius et de l'ulna ainsi qu'aux extrémités épiphysaires des os du 3^{ème} rayon* (métacarpe et phalanges). Ils ont noté que le stade 5 (fusion épiphysaire complète sans cicatrice) n'est jamais observé dans leur échantillon de 265 garçons avant l'âge de 18 ans et en concluent que cela peut être utilisé comme marqueur valable pour déterminer un âge minimum de 18 ans chez les individus de sexe masculin.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s):

Bien que cette méthode paraisse avantageuse (simple et rapide) par rapport aux méthodes de maturation par atlas (GP, voir plus bas) ou par scores (TW, Fels, voir plus bas), elle ne permet que d'évaluer un seul âge limite, 18 ans, et encore,

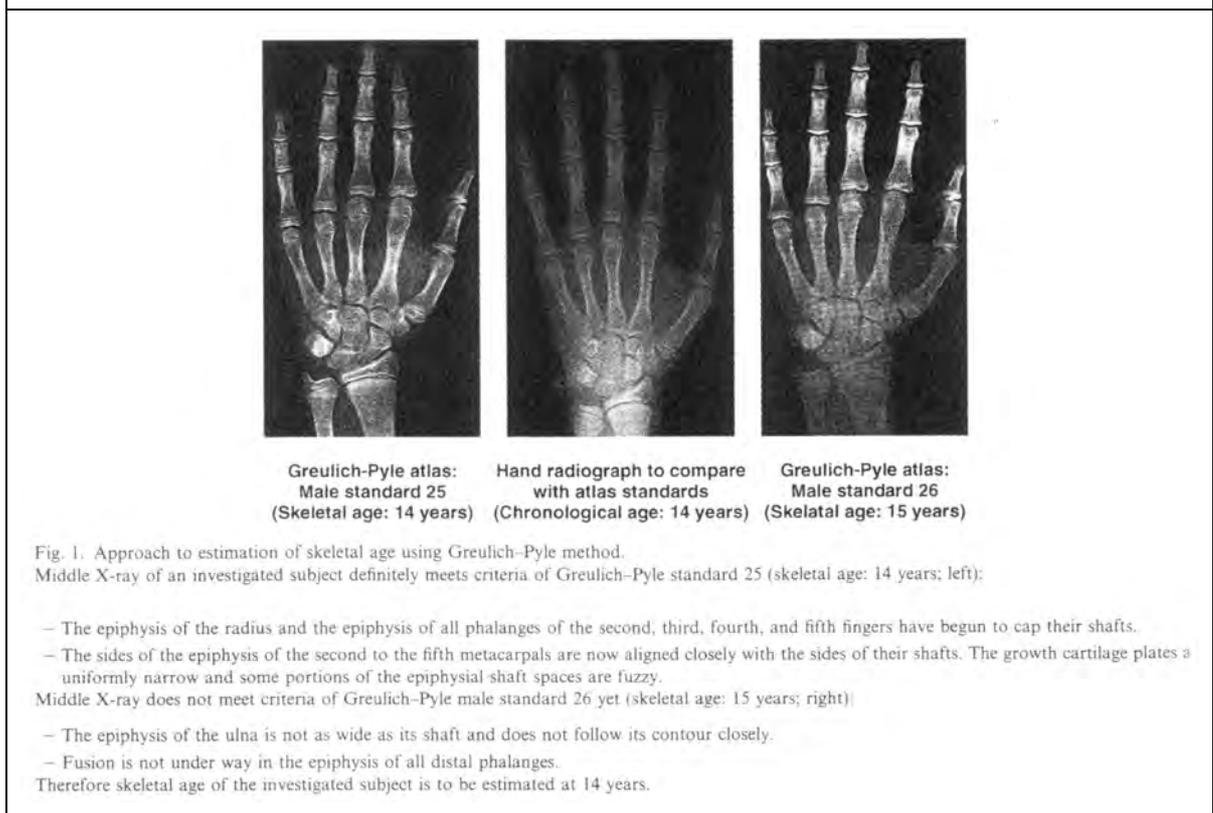
uniquement pour les individus de sexe masculin (pas valable pour les sujets féminins). De plus, on notera la petite taille de l'échantillon si l'on considère les deux dernières tranches d'âges de l'étude (M 17ans=24 cas, 18ans=30 cas).

4.2.12.4 Méthode dite de l'Atlas (GP)

La première édition de l'atlas de GREULICH & PYLE (GP) date de 1950. Une seconde mise à jour a été éditée en 1959 ⁽⁷⁸⁾. Cette méthode a été élaborée à partir de radiographies de la main de 1'000 enfants, provenant d'une population à statut socio-économique plutôt élevé de la région de Cleveland aux USA durant les années 30-40, depuis leur naissance jusqu'à l'âge de 18 ans. Les radiographies ont été groupées par classes d'âge (tranche d'une année) et les 29 centres d'ossification observables (19 pour les doigts, 8 pour le carpe et les 2 épiphyses distales de l'avant-bras) ont été scrutés afin d'en faire ressortir l'aspect le plus caractéristique en rapport avec l'âge chronologique connu. A partir de ces observations, GREULICH & PYLE ⁽⁷⁸⁾ ont organisé leur atlas en deux parties. La première consiste en 2 séries (une par sexe) de clichés considérés comme standard pour l'âge en question : 29 clichés standard Féminin (naissance; 3, 6, 9 mois; 1 an, 1a3m, 1a6m, 2 ans, 2a6m, 3 ans, 3a6m, 4a2m, 5 ans, 5a9m, 6a10m, 7a10m, 8a10m; 10, 11, 12, 13 ans; 13a6m; 14, 15, 16, 17, 18 ans; 28 et 50 ans, ces deux derniers clichés appartenant à la mère de quatre enfants comprise dans l'étude initiale) et 31 clichés standard Masculin (naissance; 3, 6, 9 mois; 1 an, 1a3m, 1a6m, 2 ans, 2a8m, 3 ans, 3a6m, 4 ans, 4a6m; 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ans; 11a6m, 12a6m, 13 ans, 13a6m; 14, 15 ans; 15a6m; 16, 17, 18, 19 ans). La deuxième partie recense, pour chacun des 29 os de la main et du poignet, les différents états caractéristiques des centres d'ossification pour l'âge qui ont été retenus pour le choix de clichés standard. Ces auteurs préconisent l'utilisation de l'atlas en deux temps: d'abord situer grossièrement le cliché à investiguer en lui trouvant le standard qui lui correspond le mieux, ensuite chaque os doit être contrôlé individuellement à l'aide de la 2^{ème} partie de l'atlas pour vérifier la correspondance à l'âge osseux du standard. En cas d'aspect visuel parfaitement identique, l'âge osseux est celui du standard correspondant, sinon il correspond au schéma le plus proche (schémas détaillés de la 2^{ème} partie de l'atlas). D'ailleurs, pour GIMÉNEZ-CASTELLANOS & COLL. ⁽¹⁰⁰⁾, la meilleure concordance entre l'âge osseux et l'âge chronologique s'obtient sur l'observation des centres d'ossification épiphysaires distaux du radius, de l'ulna et des métacarpes.

En réalité clinique, comme le relèvent SCHMIDT ET COLL. ⁽²¹⁸⁾ seule la première partie du travail, soit la comparaison aux clichés standard (Fig. 29), est généralement effectuée, rendant cette technique simple d'emploi et rapide tout en conservant un degré de précision similaire aux méthodes de types scores qui scrutent chaque os du poignet et de la main (voir 4.2.12.5).

Figure 29 Méthode par comparaison au standard de l'atlas GP d'après Fig. 1 SCHMIDT ET COLL. ⁽²¹⁸⁾



Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Les plus importants reproches faits à cette méthode sont : l'ethnie unique (caucasioïde*, USA) de l'échantillon servant de référence; le niveau socio-économique plutôt élevé de cet échantillon (absence de malnutrition); la date de cet échantillon (qui ne tient pas compte, de nos jours, d'un possible effet séculaire*); la détermination discontinue de l'âge osseux (saut dans le temps d'un cliché standard à son successeur ou son précédent); une reproductibilité éventuellement faible entre observateurs.

D'une littérature imposante s'intéressant à ces questions, on pourra retenir les éléments suivants : STEVENS-SIMON & MCANARNEY ⁽²³⁸⁾ ont trouvé une bonne corrélation* entre l'âge osseux et l'âge chronologique ($r=0,7$) à l'aide de la méthode GP chez 93 jeunes femmes afro-américaines âgées de 12 à 18 ans et

provenant d'un milieu socio-économique défavorisé (et aussi : 100% des filles dans la classe d'âge chronologique 15-18 ans montrent un âge osseux moyen de 17 ans $\pm 0,9$ ans / 25% de ces filles ont complété leur croissance durant l'adolescence). De plus le réseau neuronal (voir 4.1.5.1) de GROSS ET COLL. a incidemment trouvé le bon âge des radiographies de l'atlas alors qu'il avait été formé et entraîné à l'aide d'un échantillon de la population composé pour 60% par des afro-américains, ce qui tant à prouver que la déviation standard est plus imputable à la variabilité biologique interindividuelle qu'à l'ethnicité ou à l'environnement socio-économique! ⁽⁸⁰⁾.

L'analyse de WENZEL ET COLL. ⁽²⁵⁹⁾, bien qu'elle montre une précision moindre de la méthode GP par rapport aux méthodes de scores (TW-RUS ou TW-20), surtout chez les garçons autrichiens proches de la puberté, de l'échantillon, constate que la méthode GP leur donne un âge osseux voisin de l'âge chronologique (jusque là il y avait sous-estimation systématique de l'âge chronologique lorsque la méthode GP était appliquée à d'autres populations), ce qui tendrait à effacer l'effet séculaire pour cette méthode (mais pas pour TW dont les valeurs des scores de maturité devraient être re-établies pour chaque population à investiguer).

Enfin, LYNNERUP ET COLL. ⁽¹⁴⁶⁾ ont testé la fiabilité de la méthode GP sur un échantillon danois et ne trouvent que de faibles variations intra- et inter-observateurs, et cela, quel que soit le degré d'expérience de ces derniers. Ces auteurs concluent donc que la méthode GP se révèle simple et fiable.

4.2.12.5 Méthodes dite des scores (TW, Fels)

Ces méthodes sont utilisées pour la détermination de l'âge osseux principalement par les détracteurs de la méthode de l'atlas de GP. Comme pour cette dernière, elles tiennent compte de la maturation différentielle des divers os de la main ⁽⁷¹⁾.

4.2.12.5.1 Selon Tanner-Whitehouse

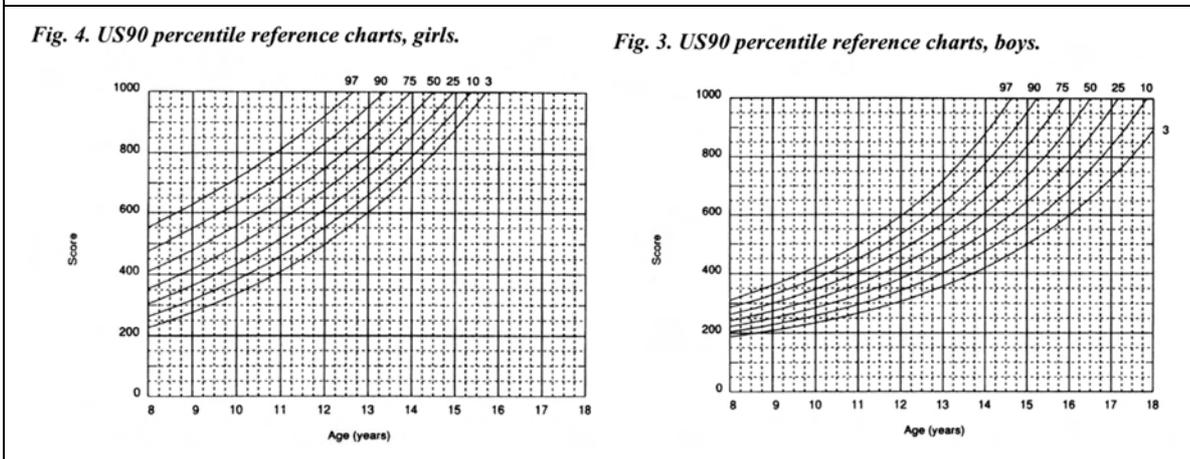
C'est la méthode la plus fréquemment rencontrée pour la détermination de l'âge osseux avec celle de GP! En utilisant plusieurs centres d'ossification, elle réduit l'impact de la variabilité de chaque os pris séparément. Néanmoins, le radius, l'ulna et les os du carpe contribuent plus au score final que les métacarpes et phalanges ⁽⁷¹⁾.

Initialement élaborée par Tanner & Whitehouse en Grande-Bretagne sur un échantillon de population britannique (Anglais et Ecossais provenant de la classe ouvrière) des années 1950-1960 (TW), puis améliorée dans les années 70 sur la base du même échantillon (TW2 ou TW-II ou TW2-UK60), elle a été réactualisée par TANNER ET COLL. ⁽²⁴⁰⁾ par une étude semi-longitudinale à partir d'un échantillon de population américaine caucasoïde* (225 F et 225 M) des années 90 (TW2-US90). TANNER ET COLL. signalent d'autres auteurs ayant établi de nouveaux standards pour cette méthode : BEUNEN ET COLL., à partir d'une population belge des années 1970 (TW2-B70) ⁽²¹⁾, Hernández et coll., à partir d'une population espagnole des années 1980 (TW-S80) et Eto et coll., à partir d'une population japonaise des années 1990 (TW2-J90) ⁽²⁴⁰⁾. On peut noter aussi l'établissement de standards pour les scores de maturités (TW2-20) d'enfants coréens (3'407 âgés de 2 mois à 16 ans) par YEON en 1997 ⁽²⁷²⁾.

Comme il n'est pas possible de connaître la taille définitive des os, et donc d'évaluer le degré de maturation par référence à cette longueur, il est avantageux d'estimer ce degré à l'aide d'une méthode de score numérique où l'absence de minéralisation est cotée 0 et la minéralisation (ou fusion) complète reçoit une valeur donnée. En fait, à chaque centre d'ossification retenu par la méthode (voir ci dessous) est assigné un stade de maturation, sur 8 à 9 stades (nommé A à H ou I), établi par Tanner & Whitehouse. L'absence de signe de présence de l'os confère le stade A, et, en fonction de la densité, de la taille, de la forme, de la régularité, de l'épaisseur de la ligne épiphysaire et de la fusion de la région épiphysaire, les stades B à I sont attribués. Dans cette méthode TW2*, si l'on observe que 20 os (épiphyse distale radius + ulna; métacarpes + phalanges proximales + phalanges distales des rayons* I, III et V; phalanges moyennes des rayons* III et V; tous les os du carpe sauf le pisciforme) sont à maturation complète, on obtient un score de maturation squelettique (SMS*) de 1000 pour TW2-20. Cela a l'avantage, d'après les créateurs de la méthode, de ne pas avoir à faire de nombreuses comparaisons avec des standards comme dans la méthode GP*. Cependant les détracteurs de TW* soulignent que l'observation des 20 os un à un prend beaucoup de temps. Probablement pour cette raison une version "simplifiée" de la méthode TW* a été élaborée où seulement 13 centres d'ossification (épiphyse distale radius + ulna; métacarpes + phalanges proximales + phalanges distales des rayons* I, III et V; phalanges moyennes des rayons* III et V) sont évalués selon les mêmes critères et est qui appelée TW2-RUS (pour

Radius Ulna Short bones). Enfin, le SMS peut être converti en âge osseux à l'aide d'une table de référence ⁽²⁷²⁾ ou à l'aide de graphiques en percentiles* (Fig. 30) ⁽²⁴⁰⁾.

Figure 30 Percentiles* de SMS pour les filles et les garçons selon TW2-US90 d'après les Fig. 3 & 4 de TANNER ET COLL. ⁽²⁴⁰⁾

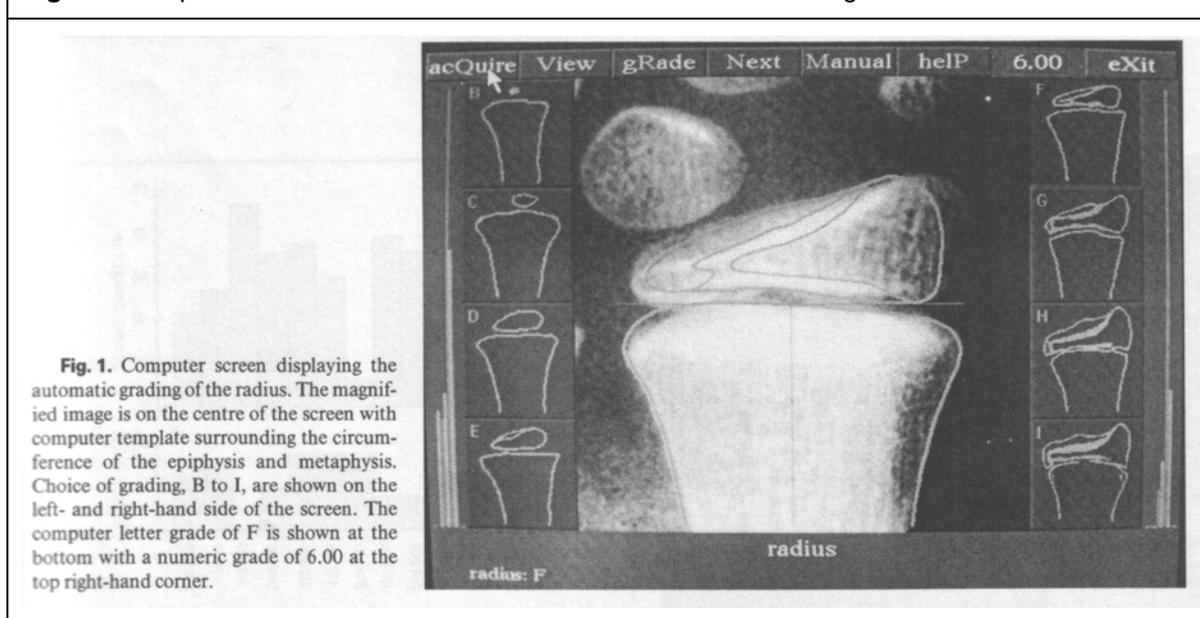


MALINA & LITTLE ⁽¹⁵¹⁾ ont étudié l'impact de la modification de scores de TW2 par rapport à la méthode originale TW1 pour des enfants américains (caucasoides et africains) et mexicains âgés de 6 à 13 ans. Globalement pour ces trois groupes, les âges osseux TW2 sont légèrement inférieurs à ceux définis selon TW1. BEUNEN ET COLL. ⁽²²⁾ trouvent un résultat similaire pour leur échantillon de garçons belges âgés entre 12 et 19 ans et notent par ailleurs que la méthode TW2 est aussi précise que TW1.

Conscient de cette consommation de temps et de la difficulté d'assigner un stade lorsque l'aspect de la minéralisation se trouve justement entre 2 stades (mais pas exactement au milieu), TANNER a apporté des modifications à la méthode dans une optique d'automatisation au début des années 1990. Ainsi la gradation des stades par centre d'ossification se fait de 1 à 9 (avec toutes valeurs numériques entre ces deux chiffres). D'autre part l'image radiographique (posée sur un négatoscope) est captée par une caméra sur trépied puis est transférée en tant qu'image numérique à un ordinateur. Ce dernier affiche l'image à l'écran dans un logiciel spécifique qui permet de choisir la forme correspondante de l'os à analyser (la forme à l'écran reproduit les 9 stades de l'ancienne méthode) et qui lui correspond le mieux. Par une mise au point avec zoom de la caméra (opération manuelle) sur l'image et une sélection de la forme choisie par l'opérateur qui apparaît en surimpression à l'écran, l'ordinateur calcule une valeur numérique qui

correspond au score de l'os investigué (Fig. 31). Ensuite la somme des scores est analysée selon la méthode classique. L'observateur, pour chaque os, peut être d'accord avec le score proposé et il valide alors la proposition ou ne pas être d'accord et il la rejette en assignant manuellement un score au centre d'ossification en question ⁽⁴⁾.

Figure 31 Aspect à l'écran de la méthode TW2 numérisée selon la Fig. 1 d'ALBANESE ET COLL. ⁽⁴⁾



Limite(s), domaine d'application ou remarque(s):

Tout d'abord, en ce qui concerne la semi automatisation de la méthode, elle ne semble pas apporter un extraordinaire gain de temps, par contre elle aurait comme avantage de réduire la variation entre les observateurs grâce à l'évaluation plus graduelle des stades de maturation ⁽⁷¹⁾.

Par ailleurs, il est intéressant d'observer, d'après les percentiles de TW2-US90, qu'en tous cas 3% des garçons n'ont pas atteint le score de 1000, qui est la maturation complète, à 18 ans (de plus, un peu moins de 6% supplémentaires sont apparemment dans la même situation d'après le graphique ci dessus) et donc cela réduit d'entrée le champ de cette méthode pour déterminer l'âge de majorité atteint ou non pour les adolescents masculins.

En ce qui concerne les principales objections à l'emploi de la méthode GP (ethnicité unique caucasoïde*, milieu socio-économique élevé, effet séculaire) TANNER & COLL. ⁽²⁴⁰⁾ prétendent que leur méthode y est moins sujette car c'est le score de maturité SMS (allant de 0 à 1000) qui est corrélé à l'âge chronologique. Cependant avec leur révision US90, pour des enfants caucasoïdes américains de

classe moyenne, ils ont trouvé que les scores de ces derniers sont avancés en regard de ceux de l'étude initiale UK60, tout comme BEUNEN ET COLL. pour leur échantillon B70 ⁽²¹⁾, et Hernández et coll. pour leur échantillon espagnol S80 ainsi que VIGNOLO ET COLL. ⁽²⁵⁷⁾ pour leur échantillon italien de 1985-95 (1'831 sujets âgés de 8 à 16,8 ans) ou encore pour WENZEL ET COLL. ⁽²⁵⁹⁾ pour leur échantillon autrichien (637 enfants de 7 à 16 ans) particulièrement dès 10 ans. Etrangement les auteurs émettent différentes hypothèses pour expliquer cette tendance : pour WENZEL ET COLL. il s'agit d'un effet séculaire, pour TANNER & COLL. il s'agit d'une différence de classe socio-économique et pour VIGNOLO ET COLL. il s'agirait d'une variabilité ethnique ou d'une réelle modification biologique liée à l'environnement (facteurs socio-économiques, amélioration de l'état de santé des populations, ...). Il semble portant bien plus probable que cette différence qui se trouve dans une variation inférieure à ± 1 an entre l'âge osseux et l'âge chronologique (Tab. 1 & 2), bien qu'elle prenne la même direction, s'inscrive dans une variation biologique intra-individuelle.

Tableau 10 Age osseux TW-RUS de différentes études et âge chronologique d'après les Tab. 1 & 2 de VIGNOLO ET COLL. ⁽²⁵⁷⁾

Table 1. Sample size, mean and SD of chronological age and TW-RUS(UK60), TW-RUS (B70), TW-RUS (S80) and TW-RUS (US90) by age for boys

Age years	Subjects	Chronological age, years	TW-RUS (UK60), years	TW-RUS (B70), years	TW-RUS (S80), years	TW-RUS (US90), years
8-	67	8.52 (0.29)	8.25 (1.06)		8.01 (1.01)	8.20 (0.97)
9-	101	9.46 (0.30)	9.29 (1.06)		8.96 (0.94)	9.09 (0.83)
10-	90	10.51 (0.27)	10.64 (1.21)		10.13 (1.05)	10.06 (0.83)
11-	102	11.50 (0.30)	11.94 (1.19)		11.16 (1.02)	10.96 (0.85)
12-	216	12.49 (0.30)	13.25 (1.15)	12.77 (0.94)	12.33 (1.07)	12.04 (1.04)
13-	193	13.45 (0.30)	14.25 (0.88)	13.65 (0.91)	13.30 (0.95)	13.01 (0.98)
14-	121	14.39 (0.31)	15.25 (0.75)	14.67 (0.87)	14.42 (0.82)	14.12 (0.84)
15-	45	15.46 (0.30)	15.93 (0.73)	15.43 (0.70)	15.10 (0.73)	14.91 (0.79)
16-	17	16.36 (0.28)	16.69 (0.82)	16.14 (0.69)	15.89 (0.78)	15.63 (0.66)

Table 2. Sample size, mean and SD of chronological age and TW-RUS(UK60), TW-RUS (B70), TW-RUS (S80) and TW-RUS (US90) by age for girls

Age years	Subjects	Chronological age, years	TW-RUS (UK60), years	TW-RUS (B70), years	TW-RUS (S80), years	TW-RUS (US90), years
8-	128	8.52 (0.30)	8.9 (1.30)	8.04 (1.07)	8.15 (0.98)	8.5 (0.88)
9-	161	9.56 (0.28)	10.2 (1.09)	9.36 (1.19)	9.26 (1.05)	9.39 (0.88)
10-	168	10.52 (0.27)	11.36 (1.06)	10.64 (1.22)	10.27 (0.98)	10.36 (0.96)
11-	138	11.43 (0.31)	12.34 (1.08)	11.82 (1.28)	11.28 (1.16)	11.34 (0.99)
12-	117	12.52 (0.30)	13.47 (0.80)	13.11 (0.93)	12.42 (0.76)	12.41 (0.82)
13-	97	13.37 (0.28)	14.11 (0.71)	13.9 (0.86)	13.05 (0.69)	13.11 (0.75)
14-	53	14.47 (0.28)	15.06 (0.63)	15.06 (0.81)	14.02 (0.65)	14.1 (0.67)
15-	17	15.34 (0.25)	15.35 (0.65)	15.43 (0.82)	14.38 (0.67)	14.4 (0.68)

4.2.12.5.2 Selon 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. De plus, et le taux, et la régularité du changement sont pris en compte. Ainsi c'est sur un score pondéré qu'est appliqué un modèle probabiliste pour déterminer un score osseux duquel est dérivé l'âge squelettique et une erreur standard ⁽²⁵¹⁾.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cette méthode ne semble pas très répandue, d'après le peu d'articles recensés dans la littérature comparativement à GP ou TW. D'autre part, et à l'instar de BULL ET COLL. ⁽³⁰⁾ qui ont signalé une absence de comparaison possible entre GP et TW2, VAN LENTHE ET COLL. ⁽²⁵¹⁾ démontrent que les valeurs obtenues pour l'estimation de l'âge osseux ne sont pas interchangeables entre la méthode de Fels et celle de TW2.

4.3 AUTRES MÉTHODES

4.3.1 Ultrasonographie (US) & vitesse de transmission

Pour KHAN ET COLL. ⁽¹⁰⁴⁾ l'évaluation de la maturation épiphysaire du poignet au moyen d'une technique d'US (calcul de la vitesse de transmission de l'onde entre une sonde positionnée latéralement à la tête radiale distale et une autre latéralement à la tête ulnaire distale) a montré être moins fiable et non reproductible par comparaison à l'estimation de l'âge osseux sur radiographie du poignet et analyse soit selon GP soit selon TW. De plus, cette technique tend à surestimer l'âge de sujets atteints de retard de croissance et à sous-estimer l'âge osseux de patients subissant une avance dans leur croissance. Enfin, techniquement, malgré l'avantage d'absence de rayonnements ionisants, cette méthode possède, à ce jour, un temps d'examen rédhibitoire (5 minutes d'immobilisation et d'immobilité totale du poignet).

5 DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE DE L'ÊTRE HUMAIN À PARTIR DE SES DENTS

On peut distinguer 2 grandes catégories de méthodes d'évaluation de l'âge dentaire: celles qui sont invasives et nécessitent l'extraction d'une dent et sa destruction partielle ou totale pour l'analyse, ci-après regroupées sous le label "Méthode quantitative de laboratoire", et celles qui sont respectueuses de l'intégrité physique du sujet (hormis l'application éventuelle de rayons X lors de la réalisation de radiographies dentaires intra-buccales ou extra-buccale OPT et de leur potentiel détriment stochastique*), ci-après regroupées en "Méthodes quantitatives/qualitatives cliniques". La liste des méthodes évoquées ci-dessous est volontairement non exhaustive dans le sens où les publications de techniques encore trop expérimentales manquent de recul pour pouvoir être utiles à ce jour dans l'établissement fidèle de l'âge d'une personne.

Néanmoins, comme le relèvent BERNDT ET COLL. ⁽¹⁹⁾ ces nouvelles techniques concernent essentiellement le laboratoire. Ainsi :

- parmi les méthodes histologiques et microscopiques on recense : une évaluation de l'âge dentaire par l'observation des surface d'attrition* de l'émail, de la dentine ou des différents matériaux d'obturation à l'aide de la microscopie électronique à balayage et la corrélation* avec l'âge chronologique (marge d'erreur actuellement trop importante pour une utilisation en pratique). S'y ajoute l'observation de la modification topographique des vaisseaux capillaires de la pulpe. Malheureusement ici les variations sont trop importantes pour établir une corrélation* avec l'âge;
- parmi les méthodes biochimiques on recense : la valeur du taux de l'enzyme gélatinase A d'origine odontoblastique qui diffère chez le sujet jeune (<20ans) par rapport à l'adulte et l'analyse du taux d'ADN mitochondrial présent dans la dentine (et donc préservé des processus de décomposition). Bien que son taux soit corrélé à l'âge, il n'existe pas encore de données certaines quant à l'exactitude de cette méthode.

Ces mêmes auteurs ⁽¹⁹⁾ évoquent aussi une possible nouvelle méthode clinique radiologique qui fait appel à la technique du micro-CT. Cette dernière permet d'étudier l'oblitération des tubulis dentinaires qui est bien corrélée à l'âge. Cependant cette nouvelle technique radiologique est très irradiante (plus que la

TDM actuelle) et il n'existe que peu d'appareils de ce type à disposition pour la clinique.

5.1 MÉTHODES QUANTITATIVES DE LABORATOIRE

5.1.1 Evaluation de l'âge par le taux d'acide aspartique dentinaire

Il s'agit d'une technique destructive car elle nécessite de sectionner une dent afin de pulvériser une quantité standardisée (en général 10 mg) de dentine en fonction du type de dent. Ensuite, par chromatographie gazeuse de cette poudre de dentine, on détermine le rapport entre les formes D et L de l'acide aspartique dentinaire (chiffre à 4 décimales) et on compare ce dernier à celui d'une dent type témoin (incisive, canine, ...), ou plus récemment à une préparation de spécimen standard d'après OTHANI ET COLL. ⁽¹⁷⁶⁾.

Cette technique est reconnue comme très performante avec une haute corrélation* entre le taux racémique et l'âge chronologique ($r^*=0,979$).

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cette technique très complexe est aussi très délicate : une simple différence de 1°C lors de la phase d'hydrolyse, par rapport à la température prévue, peut au final provoquer une différence d'estimation de 1,5 ans sur l'âge attendu!

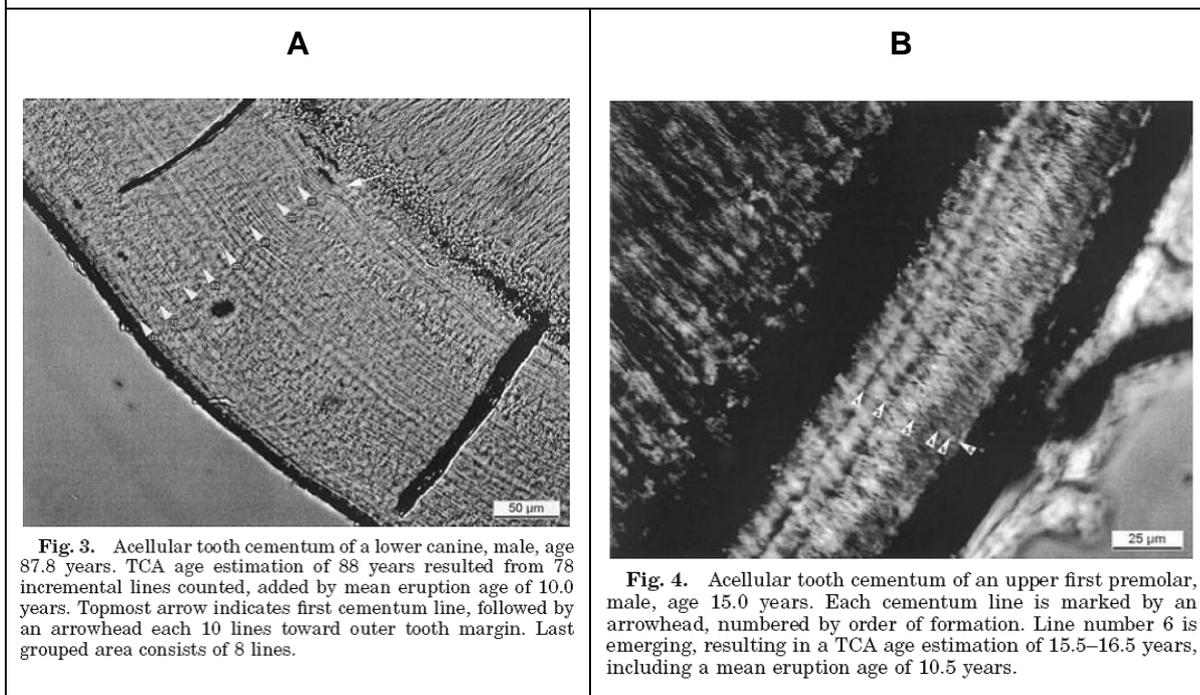
Finalement, cette méthode ne convient pas pour le sujet vivant (l'extraction dentaire n'étant éthiquement pas envisageable) ni dans les situations de catastrophes avec identification de nombreuses victimes, à cause de la complexité du matériel utilisé et de son coût.

5.1.2 Estimation de l'âge à partir du dépôt annulaire de ciment

Il s'agit d'une méthode destructive où 3 coupes transversales fines (de 70 à 80 µm) et non décalcifiées du tiers moyen de la racine de la dent extraite sont obtenues au moyen d'un microtome*. Ces coupes sont ensuite visualisées au moyen d'un microscope (grossissement de 200 à 400x) sous forte lumière transmise, et les images obtenues sont scannées par une caméra numérique en haute résolution (824x1026 pixels). Au moins 3 images sont acquises par dent et stockées dans une base de données graphique. De là, la qualité des images est rehaussée soit par amélioration du contraste, soit par fenêtrage (échelle de niveau

de gris) ou par accentuation du relief (Fig. 32 A). Après cela, le décompte des lignes annulaires noires (Fig. 32 B) est réalisé sur moniteur à l'aide d'un logiciel permettant la sommation des clics de souris effectués (ce qui réduit le risque d'erreur de décompte) par l'opérateur ⁽²⁶⁷⁾.

Figure 32 Visualisation des lignes de dépôt annulaire de ciment d'après WITTWER-BACKOFEN ET COLL. ⁽²⁶⁷⁾



L'âge est déterminé par la sommation de toutes les lignes observées et de l'âge moyen d'éruption* de la dent considérée car il est supposé que le ciment débute son apposition à partir de ce moment. L'intérêt de cette technique réside dans le fait que son indépendance au sexe (donc non sensible aux effets hormonaux d'une ménopause pourtant présente), à la maladie parodontale ou au type de dent étudiée a pu être démontrée. D'autre part, elle est relativement précise, sa marge d'erreur étant de $\pm 2,5$ ans (avec un intervalle de confiance de 95%).

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Les limites sont les mêmes que celles de la méthode précédente (ne convient pas pour le sujet vivant, ni pour l'utilisation sur le terrain en cas de catastrophe avec beaucoup de corps à identifier).

De plus, comme en l'état la marge d'erreur est égale ou supérieure à ± 5 ans (pour des raisons non élucidées) dans 5% des cas, cette technique doit faire l'objet d'un contrôle par l'application sur deux dents, l'une étant préalablement évaluée sur la transparence dentinaire (ou sur la méthode de Lamendin) pour WITTWER-

BACKOFEN ET COLL. ⁽²⁶⁷⁾. Enfin ces auteurs préconisent : de n'utiliser que des dents monoradiculées, car la section radicaire est dans ce cas plus facile à étudier, et d'étendre ces études à des échantillons historiques d'âge connu pour pouvoir ensuite appliquer la méthode en archéologie.

5.1.3 Le retrait du ligament desmodontal* comme indicateur de l'âge

La perte d'attache des fibres ligamentaires desmodontales* au collet de la dent est supposée provenir de l'éruption continue de la dent comme phénomène compensatoire à l'attrition* occlusale et/ou à l'inflammation chronique induite par la plaque dentaire au niveau du rebord gingival. Ces processus progressent lentement et il est difficile d'attribuer la perte d'attache à un phénomène plutôt qu'à un autre. Cliniquement la perte d'attache se mesure à l'aide d'une sonde parodontale (rectiligne, à bout gradué et extrémité mousse). En pratique (odontologie légale) cette mesure a été essentiellement réalisée sur dent extraite et pour des méthodes d'évaluation de l'âge multicritères (Gustafson, Dalitz, Johanson) pour lesquelles la perte d'attache est établie sous la forme d'un score. Afin d'éliminer ce dernier écueil subjectif, SOLHEIM ⁽²³²⁾ a mesuré sur 1'000 dents extraites (tous types, sauf les molaires) la distance comprise entre la jonction émail-cément et la zone d'insertion la plus cervicale des fibres ligamentaires desmodontales* à l'aide d'un pied à coulisse, puis il a tenté d'établir une relation statistique (par analyse en régression* multiple) entre l'âge, la perte d'attache ligamentaire, le sexe, les raisons de l'extraction et le degré d'attrition*. Comme résultat, il a obtenu une faible corrélation* entre l'âge et le retrait parodontal, l'absence d'association forte entre le degré d'attrition* et la perte d'attache parodontale (contrairement à ce qui est généralement décrit dans les études archéologiques) et une distribution non normale de la perte d'attache due, possiblement, à la présence de maladie parodontale (cette dernière pouvant débiter à l'adolescence déjà) dans l'échantillon.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Cette technique prise isolément n'est pas valable (distribution non normale) car il est presque impossible que l'échantillon, comme le sujet, soit totalement exempt d'atteinte parodontale. En conséquence elle ne doit être utilisée qu'en tant qu'une des variables des techniques multicritères (comme celle de Gustafson).

5.1.4 La couleur de la dentine radulaire comme indicateur de l'âge

En bouche la couleur des dents change avec l'âge car, d'une part l'index de réfraction de la lumière entre la salive et l'émail change avec les modifications de ce dernier (augmentation de la teneur en nitrogène, craquelures de surface) et d'autre part la dentine s'assombrit par déposition de produits colorés provenant du sang. Comme la couleur des dents peut aussi être influencée par des facteurs externes (dépôt de tartre, colonisation bactérienne, lésion carieuse, restaurations métalliques) particulièrement au niveau coronaire, c'est la dentine radulaire qui est utilisée comme marqueur. Au départ, le procédé consistait à utiliser des coupes d'usure de dents extraites et sèches qui étaient évaluées à l'aide d'une échelle visuelle à 5 grades : G1=blanc, comme pour une dent ayant fait récemment éruption* sur l'arcade (n° 59 de l'échelle Truebyte); G2=légèrement plus foncé que G1 (n° 56 Truebyte) généralement chez l'individu entre 20 et 30 ans; G3=couleur plus foncée (n°69) individu de 60-70 ans; G4= jaune foncé (n°81), individus de 60 à 70 ans; G5=jaune très foncé (n°82) >80 ans. Cette technique montre une bonne corrélation* entre la couleur de la dentine radulaire et l'âge chronologique (coefficient de corrélation* de Pearson) $r=0,84$ pour l'incisive centrale maxillaire ⁽²³¹⁾. Plus récemment une étude ⁽¹²¹⁾ avec automatisations, ne faisant plus appel aux coupes d'usure, a été réalisée à l'aide d'images numériques (dents scannées) et de l'analyse colorimétrique par ordinateur (par détermination du taux de jaune contenu dans l'image) avec là aussi une forte corrélation* entre l'assombrissement dentinaire et l'âge ($r^*>0,9$), avec cependant un léger dimorphisme* sexuel (F atteignant une même coloration légèrement plus tôt que M, probablement car les dents font éruption plus tôt chez la fille) ce qui n'était pas le cas des précédentes études de SOLHEIM.

Limite(s), domaine d'application ou remarque

Cette méthode ne s'applique que pour des sujets chez lesquels une dent peut être extraite pour observation! Au niveau statistique, on peut se demander si l'analyse par régression linéaire standard s'applique à toutes les populations ou conditions de "stockage" (sujet mis en terre, brûlé, ...).

Par contre la nouvelle méthode d'après SOLHEIM a l'avantage de ne demander que peu de connaissances odontologiques et informatiques, et ne requiert pas un matériel de laboratoire sophistiqué. De plus la dent n'ayant pas à être observée sur coupe d'usure, elle n'est pas détruite. Au vu de la bonne corrélation* à l'âge,

cette méthode représente un bon candidat pour les techniques multicritères, la couleur de la dentine radiculaire étant alors une des variables de la régression multiple.

5.1.5 La transparence de la dentine radiculaire comme indicateur de l'âge

Cette transparence dentinaire résulte du dépôt de cristaux d'hydroxyapatite dans les tubuli dentinaires, qui débute vers l'âge de 20 ans et peut être observée par trans-illumination de la dent extraite (entière) sur un négatoscope ⁽⁷⁷⁾. La transparence dentinaire radiculaire a été démontrée comme étant hautement corrélée à l'âge et cela particulièrement sur la base d'une étude réalisée à partir de coupes d'usures de canines extraites ⁽¹⁴¹⁾. Ici, la canine est supposée être un bon marqueur de l'âge biologique d'un sujet, car cette dent est moins soumise aux forces occlusales que les autres dents. En fait, la transparence de la dentine radiculaire est la variable la mieux corrélée à l'âge parmi les autres variables utilisées dans la méthode originelle de Gustafson ou ses variantes, comme celle de Johanson ⁽²³¹⁾.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Comme cette technique nécessite l'extraction d'une canine et, normalement, sa destruction par coupe d'usure, elle n'est pas adaptée au sujet vivant ou à du matériel archéologique sensible (c'est à dire de haute valeur) ou encore pour certain sujets décédés (en fonction de critères religieux, par exemple).

Généralement cette technique n'est qu'une variable parmi d'autres des méthodes multicritères (Gustafson, Johanson), mais elle peut parfois être utilisée seule pour estimer l'âge.

5.1.6 La méthode de Lamendin

A l'origine (1992) seulement 2 variables sont utilisées dans cette méthode: le degré de récession gingivale (bande de dentine jaunâtre plus sombre que l'émail mais plus claire que la dentine préalablement entourée du parodonte sain avant extraction) et la transparence de la dentine radiculaire. Cette méthode, qui requiert l'extraction de la dent pour analyse (mais ne nécessite pas de coupes d'usure), ne tient compte ni du sexe ni de l'origine ethnique du sujet investigué et elle s'avère moins complexe que d'autres méthodes multicritères (voir plus bas). Sa formule

(obtenue par régression multiple) pour l'estimation de l'âge est : $A = (0,18 \cdot P) + (0,42 \cdot T) + 25,53$ où $P = (\text{hauteur de la perte d'attache} / \text{hauteur de la racine}) \cdot 100$ et $T = (\text{hauteur de la dentine transparente} / \text{hauteur de la racine}) \cdot 100$ ⁽⁶⁹⁾. GONZÁLES-COLMENARES ET COLL. ⁽⁷⁷⁾ reportent que Prince & Ubelaker ont modifié cette formule (toujours selon une statistique de régression multiple) en différentes formules sous groupées en "femme noire", "femme blanche", homme noir", mais en y rajoutant la longueur de la racine (p. ex. pour "l'homme blanc" cela donne : $A = 0,16 \cdot \text{hauteur racine} + 0,29 \cdot P + 0,39 \cdot T + 23,17$). Néanmoins, cela n'apporte que peu d'effets significatifs par rapport à la méthode de Lamendin chez le sujet d'origine espagnole mais cela réduit légèrement l'erreur moyenne d'évaluation de l'âge chez les sujets d'origine colombienne.

Limite(s), domaine d'application ou remarque :

Pour GONZÁLES-COLMENARES ET COLL. ⁽⁷⁷⁾ c'est la transparence dentinaire qui est le mieux corrélée à l'âge dans cette méthode et qui se mesure le mieux sur les incisives entières extraites. Justement le problème majeur de cette méthode réside dans le critère "récession gingivale" qui peut être pathologique et influencé par de nombreux facteurs (mauvaise hygiène buccale; irritation chronique ou physique : brossage inadéquat; morphologie dentaire; maladie systémique : diabète, traitement médicamenteux). C'est d'ailleurs ce qu'ont démontré FOTI ET COLL. ⁽⁶⁹⁾ pour qui la méthode de Lamendin sous-estime de 7 à 18 mois l'âge d'une personne ayant souffert de parodontite et se trouvant dans une catégorie d'âge supérieure à 49 ans.

5.1.7 Les méthodes multicritères (Gustafson)

La démarche de ce type la plus connue fut proposée dans les années 1950 par Gustafson. Cette méthode semi-numérique se base sur l'observation de six critères régressifs* (Fig. 33) supposés liés à l'âge: attrition*; apposition de dentine secondaire; récession gingivale et desmodontale* (parodontite); déposition annulaire de ciment; résorption radiculaire; transparence de la dentine radiculaire. Bien entendu, pour certains de ces critères, l'observation ne peut se faire que sur une dent extraite et plus encore sur une coupe d'usure de cette dernière (pour la dentine secondaire et le dépôt cémentaire) ⁽⁸⁵⁾.

Figure 33 Critères de Gustafson d'après ⁽³¹⁾

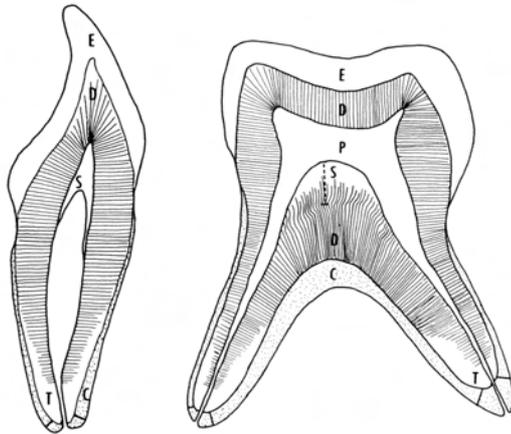


FIG. 1—Sagittal section drawings of an incisor and a molar. E = enamel; D = primary dentin; S = secondary dentin; T = transparency; and C = cementum apposition. The measurement position for molar secondary dentin is indicated by a dotted line. The measurement positions for cementum apposition are indicated by a solid line.

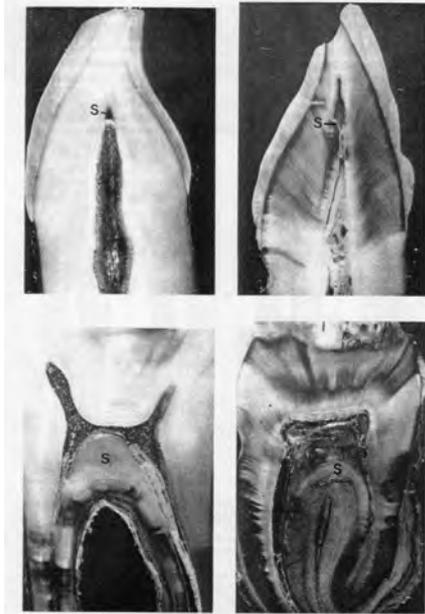


FIG. 2—Development of secondary dentin within the pulp chamber. The secondary dentin appears translucent, for the most part. (upper left) Incisor #106; donor, 35 years old. (upper right) Incisor #378; donor, 61 years old. (lower left) Molar #257; donor, 19 years old. (lower right) Molar #180; donor, 52 years old.

A chacune de ces 6 variables est attribué un score croissant allant de 0 à 3, en fonction de la sévérité de l'atteinte (Fig. 34) et c'est la somme des scores qui est régressée sur l'âge selon la formule : $\text{Age} = 11,43 + 4,56 \cdot X$.

Figure 34 Sévérité de l'atteinte des critères de Gustafson d'après ⁽³¹⁾

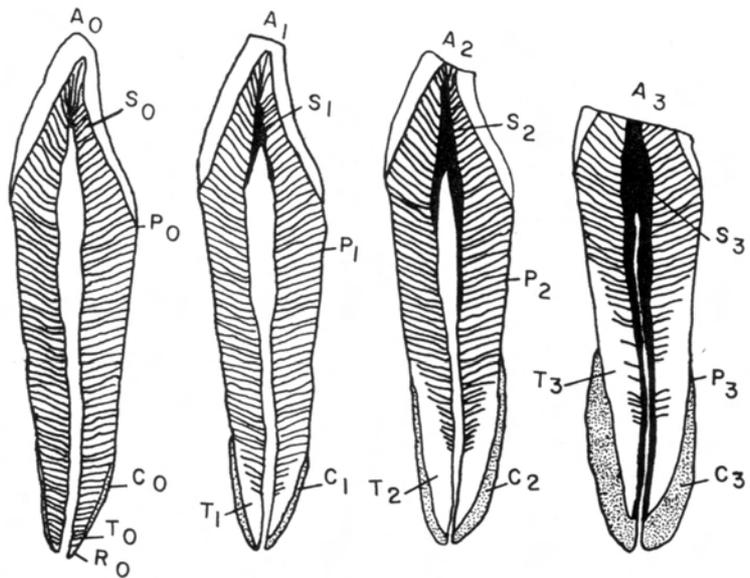
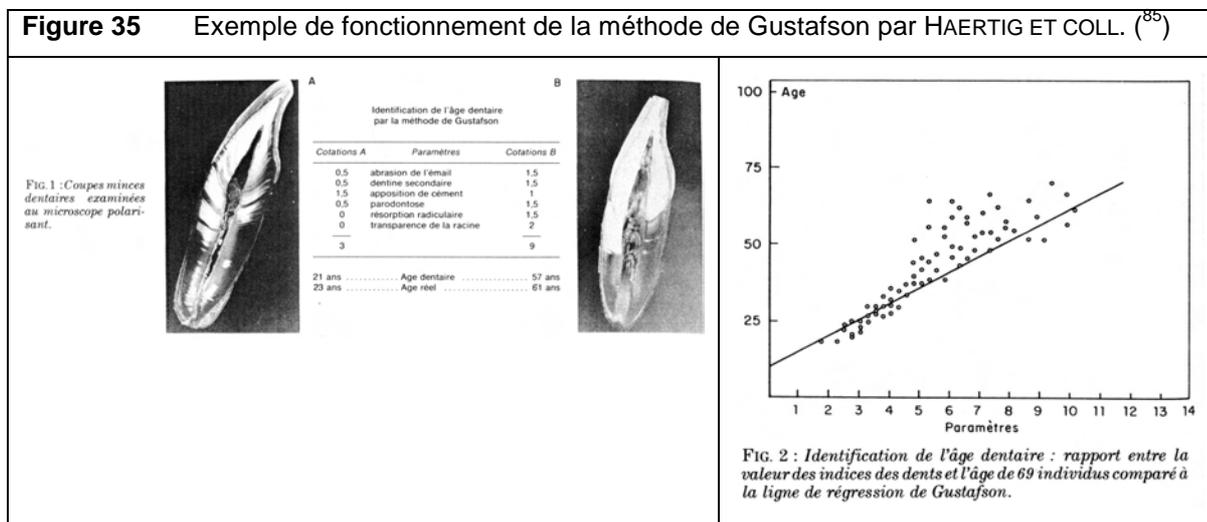


FIG. 3—The Gustafson method, reproduced from Ref 2. "Six changes seen in ground sections of teeth become accentuated with age. The changes are here classified according to development. This sketch is used for later characterization and calculation of point values. The changes are: A = attrition; S = secondary dentine; P = changes in the paradentium; C = cementum apposition; T = transparency; and R = resorption (not indicated in sketch)" [2].

Par la suite des ½ scores on été rajoutés (par Johanson) pour pouvoir mieux apprécier les cas limites : un exemple de la méthode est bien illustré par HAERTIG ET COLL. ⁽⁸⁵⁾ : Fig. 35.



Limite(s), domaine d'application ou remarque

Bien que Gustafson ait prédit originellement une erreur de $\pm 3,63$ ans, aucun autre auteur n'a atteint une telle valeur. Par exemple PILLAI & BHASKAR ⁽¹⁹¹⁾ on trouvé, à partir d'un échantillon indien de 59 cas (83 dents) un bon coefficient de corrélation* ($r=0,72$) avec une déviation standard de $\pm 8,13$ ans. Ces auteurs notent une amélioration des résultats en prenant plusieurs dents par cas et soulignent l'importance d'une bonne connaissance de l'histologie dentaire particulièrement pour l'évaluation du dépôt de ciment et de dentine secondaire. Quant à BURNS ET COLL. ⁽³¹⁾ il ne trouvent une valeur prédictive avec une marge de ± 3 ans que dans 28% des cas selon la régression simple ou 29% des cas à l'aide d'une régression multiple (qui n'a donc que peu amélioré les résultats), à l'aide des variables additionnelles que sont : le type de dents, la race et le sexe, pour leur échantillon de 355 dents de 267 individus américains. Enfin LUCY & POLLARD ⁽¹⁴⁴⁾ en reprenant les données du tableau de données de Gustafson mais avec l'échelle en demi points de Johanson et en révisant l'équation de régression (qui devient : $\text{Age} = 5,117 \cdot (X + 1,5268)$) appliquée à leur échantillon anglais de 53 dents, obtiennent une marge d'estimation à $\pm 15,9$ ans pour un intervalle de confiance de 95%. Et ces auteurs relèvent que Johanson, avec une formule de régression multiple, ne donne qu'une valeur de marge d'estimation à 5,16 ans, ce qu'ils présument être une déviation standard donc une prédiction qui a 68% de chance d'être valable.

Malgré ces données plutôt en défaveur de la précision de la méthode multicritère de Gustafson, XU ET COLL. ⁽²⁶⁹⁾ ont effectué une analyse assistée par ordinateur (sur la base de photographies de section de dents) de ces critères additionnés de ceux de Maples et de différentes aires (listées dans le Tab. 11). Grâce à une régression multiple avec transformation logarithmique de certaines valeurs, leur nouvelle formule a permis de réduire l'erreur standard de l'âge estimé à 1,9-7,5 ans. Cette étude, effectuée sur 317 dents de sagesse extraites d'une population chinoise, est intéressante car elle montre, par la transformation logarithmique qui approxime mieux l'âge, que ces changements liés à l'âge ne sont pas parfaitement linéaires et que l'observation objective (surface des dents) est plus performante que l'analyse subjective (système de score).

Tableau 11	Paramètres mesurés par XU ET COLL. ⁽²⁶⁹⁾
THE MORPHOMETRIC PARAMETERS MEASURED IN TOOTH SECTIONS	
<i>Parameter</i>	
WC (area of crown) P (area of pulp cavity) E (area of enamel) CP (area of crown pulp) CD (area of crown dentin) CCP (area of pulp chamber) S2 (area of secondary dentin) T2 (area of root translucency) C2 (area of cementum) R2 (length of root resorption area) TP2 (distance between tooth neck and periodontal attachment) PL (width of pulp in tooth neck) NL (width of tooth neck)	

5.2 MÉTHODES QUANTITATIVES CLINIQUES

5.2.1 La longueur des germes des dents permanentes comme indicateur de l'âge

La première portion de la dent à se minéraliser se situe à l'extrémité de la couronne : le bord incisif (incisives) ou la pointe cuspidienne (canines, prémolaires et molaires). Après, la minéralisation suit la formation en longueur de la dent jusqu'à ce qu'elle soit complètement formée, c'est à dire son apex* (extrémité radulaire) fermé. Sur la base d'un échantillon de 76 squelettes d'enfants morts au 18^{ème} siècle, et dont l'âge de décès était connu (1 à 19 ans), LIVERSIDGE ET COLL. ⁽¹³⁷⁾ ont pu montrer que : pour tous types de dents, la croissance suit une courbe polynomiale (forme de S avec croissance initiale rapide suivie plus loin par

une re-accélération lors de la formation de la 2^{ème} moitié de la racine); les mesures sur radiographies intra-buccale (mais réalisées avec une distance foyer-film de 1m et ne présentant ni distorsion, ni agrandissement) donnent une même longueur de dent que la mesure physique; leur méthode statistique (régression* : Tab. 12 & 13) permet par une formule simple (Fig. 36) d'estimer l'âge à partir de la longueur de le dent en formation.

Tableau 12 Formule de régression* de LIVERSIDGE ET COLL. ⁽¹³⁷⁾

TABLE 1—Regression formulae.						
Tooth	b0	b1	b2	b3	b4	b5
I1	1.0627	-0.5654	0.1518	-0.00765	0.00012	
I ²	-0.4486	0.6520	-0.0080			
I ₂	1.6016	-0.8697	0.2249	-0.01285	0.000233	
C	0.0644	0.2530	-0.0061	0.00962	-0.000724	0.0000147
P1	1.6140	0.5355				
P2	2.2326	0.5604				
M1	0.1258	-0.1992	0.1297	-0.00832	0.00017	
M2	0.1198	1.6049	-0.1141	0.00341		
M3	8.1775	0.6666				

NOTE: Age can be determined by measuring tooth length of an isolated tooth and substituting length in the following equation:
 $y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + b_5x^5$
 $y = \text{age in years, } x = \text{tooth length in mm}$

Tableau 13 Détail de la formule de régression* de LIVERSIDGE ET COLL. ⁽¹³⁷⁾

TABLE 2—Statistical details of Regression equations.								
Tooth	Order	R	Sd \bar{y}	N	Min t/l	Min Age	Max t/l	Max Age
I1	5	0.983	0.348	77	1.6	0.52	22.7	9.00
I ²	3	0.981	0.609	40	2.5	1.13	21.9	10.00
I ₂	5	0.988	0.286	37	2.5	0.64	21.9	9.00
C	6	0.984	0.470	70	1.3	0.40	24.9	13.00
P1	2	0.972	0.816	33	1.0	2.53	21.3	13.00
P2	2	0.976	1.009	16	1.3	3.00	21.2	14.00
M1	5	0.976	0.381	72	1.4	0.08	20.4	9.00
M2	4	0.993	0.539	10	2.4	3.36	21.0	15.00
M3	2	0.784	2.184	14	5.1	11.58	20.8	22.00

NOTE: Order = order of polynomial, N = number of teeth, R = correlation coefficient, Sd \bar{y} = residual mean square, min t/l = minimum tooth length for prediction, min age = corresponding minimum age in years, max t/l = maximum tooth length at completion of root, max age = corresponding maximum age in years.

Figure 36 De calcul d'estimation de l'âge d'après LIVERSIDGE ET COLL. ⁽¹³⁷⁾

Example

To estimate age from a fragmented mandible with developing crown of I₂, the only measure available. Tooth length is measured and found to be 8.7 mm. Substitute this in the regression equation (Table 1) for I₂; age = 3.93 years. The 95% confidence interval is calculated by taking the square root of residual mean square for this tooth type (Table 2): in this case 0.286 years²; the square root is 0.535 year. Multiply this with the t-value for a specific p-value (e.g., 95%) on the residual degrees of freedom (N - order of polynomial) 37 - 5 = 32; the t-value is 2.03. The product of 0.535 and 2.03 = 1.09 years. Thus the 95% confidence limits for this individual are 3.93 ± 1.09 years (2.84 years, 5.02 years).

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s):

L'échantillon de cette étude n'est pas très grand, surtout si l'on considère son fractionnement en classe d'âge (plus de petits enfants que d'adolescents) et les dents se formant plus tard et en plus de temps (prémolaires et dents de sagesse) donnent des intervalles de confiance plus larges, donc cette méthode se limite à l'évaluation de l'âge de la petite enfance à la pré-adolescence. D'ailleurs, MÖRNSTAD ET COLL. ⁽¹⁶³⁾ arrivent à des résultats similaires, soit un âge estimé à ± 2 ans dans un intervalle de confiance de 95% entre 6 et 14 ans, à l'aide d'une méthode légèrement différente : mesure directe sur OPT numérisés de longueur "de référence" dentaire (Fig. 37) suivie d'un calcul à l'aide d'une formule (obtenue

Figure 37 Longueurs mesurées d'après MÖRNSTAD ET COLL. ⁽¹⁶³⁾

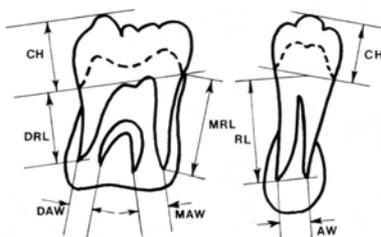


Fig. 2. Distances measured between defined landmarks. CH, crown height. DRL, length of distal root in molars. MRL, length of mesial roots in molars. RL, root length of single-rooted teeth. DAW, width of distal apex in molars. MAW, width of mesial apex in molars. AW, width of apex of single-rooted teeth.

Practical approach

When the age of a person has to be determined by the proposed method, first measure 47ARL, 44RL, and 46AAW, and also 45AW for boys and 43AW for girls. Then divide the measurements by the magnification factor of the radiograph. Do a gross estimation of age by using the equation for the whole age range with due regard to sex. Use the calculated age to decide which of the three expressions for the respective age should be used. Then recalculate the age with this expression. Finally, determine with which certainty the age has been assessed by calculating the 95% C.I. with the expression:

$$\text{Prognostic interval} = Y_{pr} \pm t_{(1-\alpha/2, N-2)} \sqrt{S^2_Y + S^2}$$

where Y_{pr} is the predicted age; $t_{(1-\alpha/2, N-2)}$ is dependent on degree of probability and degrees of freedom, but can, in practice, be set to 1.96 for a 95% C.I.; S^2_Y is the variance of mean prediction; and S^2 is the square of the standard error of the estimate.

There is a specific S^2_Y -value for each predicted age. However, in practice, use of the mean value gives a confidence interval of satisfactory accuracy.

Example

Suppose the subject is a girl. Start with the expression for the whole age range (Table 3):

$$\text{AGE} = 2902 + 67.1 \cdot 47\text{ARL} + 37.3 \cdot 44\text{RL} - 115.1 \cdot 46\text{AAW} - 24.0 \cdot 43\text{AW}$$

Then input the required measurements. Suppose them to be as follows:

$$\begin{aligned} 47\text{ARL} &= 2.6 \text{ mm} \\ 44\text{RL} &= 4.4 \text{ mm} \\ 46\text{AAW} &= 1.3 \text{ mm} \\ 43\text{AW} &= 4.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AGE} &= 2902 + 67.1 \cdot 2.6 + 37.3 \cdot 4.4 \\ &\quad - 115.1 \cdot 1.3 - 24.0 \cdot 4.8 \\ &= 2902 + 174.5 + 164.1 - 149.6 - 115.2 \\ &= 2975.8 \approx 8.2 \text{ yr.} \end{aligned}$$

This preliminary age tells us to use the following expression:

$$\begin{aligned} \text{AGE} &= 2817 + 42.0 \cdot 44\text{RL} - 126.2 \cdot 41\text{AW} \\ &\quad + 33.4 \cdot 47\text{ARL} - 69.0 \cdot 46\text{AAW} \end{aligned}$$

This expression requires one more measurement:

$$41\text{AW} = 0.2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{AGE} &= 2817 + 42.0 \cdot 4.4 - 126.2 \cdot 0.2 \\ &\quad + 33.4 \cdot 2.6 - 69.0 \cdot 1.3 \\ &= 2817 + 184.8 - 25.2 + 86.8 - 89.7 \\ &= 2973.7 \text{ days} \approx 8.2 \text{ yr} \end{aligned}$$

The best estimate of this girl's age is thus 8.2 yr.

To obtain the 95% prognostic interval for the estimate, we input:

1. The values for S^2_Y and S^2 . They are the squares of std dev mean pred and std err est, as found with the expressions in Table 3. Then calculate $S^2_{\text{ind } Y}$ i.e., $(S^2_Y + S^2)$; in this case, $276^2 + 216^2 = 122832$. Take the square root of $S^2_{\text{ind } Y}$ to get $S_{\text{ind } Y}$ i.e., $\sqrt{122832} = 350$.
2. Then multiply $S_{\text{ind } Y}$ by 1.96 (for 95% C.I.), 2.58 (for 99% C.I.), or 3.29 (for 99.9 C.I.), i.e., $1.96 \cdot 350 = \pm 687 \text{ days} \approx \pm 1.9 \text{ yr}$.
3. Finally, add and subtract this value to/from the estimated value for age.

The result of the age determination is then presented as an estimated age with a 95% C.I. from the upper to the lower value, i.e., in this case, $8.2 \pm 1.9 \text{ yr}$. To put it nontechnically: the best guess is 8.2 yr, but to be 95% sure that the right age is included, we say the subject may be aged between 6.3 and 10.1 yr.

par analyse de régression multiple) pour des sujets statistiquement appariés (ethnie, niveau socio-économique). Enfin, LIVERSIDGE ET COLL. ⁽¹³⁶⁾ ont tenté de déterminer quelle méthode quantitative, c'est à dire mesurant la taille de la dent en formation, était la plus précise pour leur échantillon de 145 enfants d'origine européenne âgés entre 8 et 13 ans. Ils ont trouvé que c'était celle de Mörnstad et coll. (1994) plutôt que celle de Liversidge & Molleson (1999) ou Carels et coll. (1991).

5.2.2 L'éruption* dentaire comme indicateur de l'âge

A l'évidence les méthodes se basant sur l'éruption des dents ne peuvent être réalisées (cliniquement ou radiologiquement) que pendant la période de croissance de l'individu. Une manière simple, mais peu précise, d'évaluer l'âge dentaire d'après l'éruption est reportée par ROLAND & FLOC'H ⁽²⁰⁴⁾ dans leur article sous l'appellation de "formule de Chateau (1975)" : âge dentaire = (nombre de dents permanentes / 4) + 5. Cependant, si l'on ne tient pas compte des dents de sagesse, il n'est alors possible d'évaluer l'âge dentaire du sujet que jusqu'à 13 ans cliniquement et 11 ans radiologiquement. En effet, l'émergence* radiologique est plus difficile à estimer du fait de l'absence habituelle de visualisation des tissus mous (gencive) sur les clichés standard ⁽¹⁷⁵⁾. Le grand avantage du décompte des dents cliniquement visibles en bouche (dès l'apparition d'une partie de la couronne) en dehors de la gencive, en tenant compte du type de dent, est de n'utiliser aucun moyen technique ^(150, 175). Cependant les dates prévues d'éruption selon le type de dent sont extrêmement variables car dépendant de nombreux facteurs : génétique, donc aussi ethnique et sexuel; environnementaux, donc socio-économique, alimentaire, climatique; séculaire*; locaux, donc encombrement dentaire ⁽¹²⁵⁾.

Sur la base d'échantillons de population connue (âge civil et état d'éruption* dentaire évalué à cet âge selon la clinique ou sur radiographies) certaines différences ont pu être démontrées. MALCOLM ET COLL. ⁽¹⁵⁰⁾ ont trouvé dans 6 groupes de population de Papouasie-Nouvelle-Guinée une éruption dentaire et une croissance staturale* plus rapide parmi le groupe urbain, ce qu'ils expliquent par une diète plus riche en calories et protéines que dans les groupes ruraux. Dans cette étude, et selon la même analyse statistique, l'éruption dentaire est généralement plus précoce chez les filles et, d'une manière générale, pour les

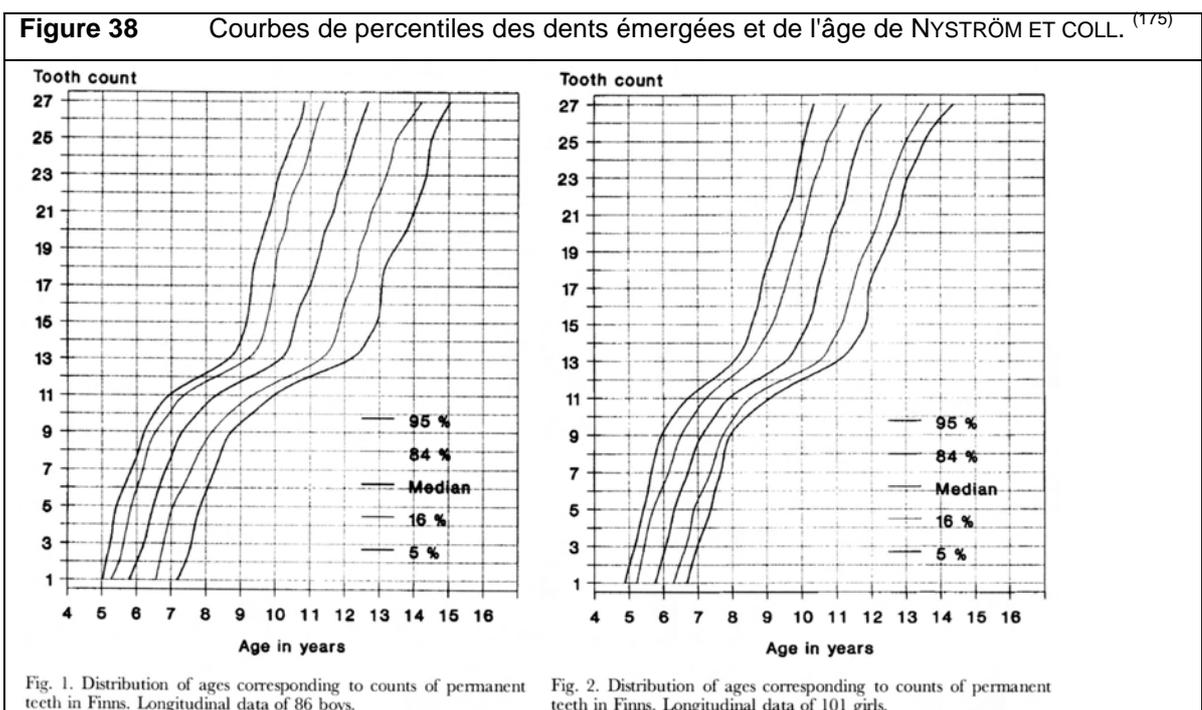
deux sexes de Papouasie que pour les enfants britanniques, qui montrent néanmoins une croissance staturale avancée.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s):

LAVELLE ⁽¹²⁵⁾, dans son examen de 4'000 enfants européens (5 à 14 ans) et d'une même catégorie socio-économique (provenant de 4 villes d'une même région), a pu montrer une importante variation dans la date d'éruption selon le type de dents et selon l'arcade (maxillaire ou mandibulaire), ce qui permet de douter de l'efficacité de cette méthode pour déterminer l'âge civil d'un individu.

D'autre part, certaines maladies générales peuvent influencer l'éruption dentaire, ce qui a par exemple été démontré par HAUK ET COLL. ⁽⁹⁰⁾ qui ont relevé une émergence* retardée en fonction de la sévérité de l'atteinte par le VIH (SIDA) de l'individu.

L'effet d'une tendance séculaire a été retrouvé par NYSTRÖM ET COLL. ⁽¹⁷⁵⁾ pour lesquels l'ordre d'éruption* entre l'incisive centrale permanente et la première molaire permanente s'est inversé entre 1920 (molaire avant incisive) et 2001 (incisive avant molaire) dans un échantillon d'enfants finlandais (âgés de 6 mois à 16 ans) présentant une excellente hygiène buccale. Pour ces auteurs, l'âge d'émergence pour un intervalle de confiance de 95% est de ± 1 an pour l'incisive centrale mandibulaire et ± 2 ans pour les canines, prémolaires et 2^{ème} molaires, chez le garçon. Ainsi à l'aide de courbes de percentiles* et en fonction du nombre de dents émergées, il serait possible d'estimer l'âge d'un individu (Fig. 38).



MULLER-BOLLA ET COLL. ⁽¹⁶⁷⁾ ont par contre trouvé un âge d'éruption simultanée pour les 1^{ère} molaires et les incisives centrales permanentes mandibulaires suivi par l'émergence* des incisives centrales maxillaires sur des OPT d'un échantillon de population (5'848 patients entre 1 et 15 ans en consultation pédodontique ou orthodontique de la ville de Nice en France) qui ne tient compte ni du sexe, ni de l'origine ethnique et où seuls les sujets sans caries ni risques d'encombrement dentaire avaient été inclus. Ces auteurs trouvent par ailleurs un âge d'éruption dentaire globalement retardé par rapport aux autres études, car ces dernières se basent sur l'émergence d'une partie de la couronne hors de la gencive alors que MULLER-BOLLA ET COLL. n'ayant étudié que des dossiers radiologiques, ont pris comme critère d'éruption* l'atteinte par la couronne du plan occlusal ce qui prend plus de temps. Enfin l'étude de KUMAR & SRIDHAR ⁽¹¹⁸⁾ de 1'008 sujets âgés de 5 à 14 ans résidant dans la ville de Tirupati en Inde et selon une analyse par régression (équation de Kusti) permet d'estimer l'âge selon une probabilité médiane (E_{50}) de la dernière dent émergée, dans la population de référence, avec une probabilité d'avoir une déviation positive ou négative par rapport à cet âge supposé : si la dernière dent émergée est une seconde prémolaire maxillaire alors $E_{50} = 9,55$ ans avec une probabilité de 16% d'âge > 10,5 ans et de 13% d'âge < 8,5 ans. Ce genre d'évaluation montre néanmoins un certain degré d'imprécision!

En incluant la dent de sagesse (3^{ème} molaire) dans l'analyse de radiographie OPT, en assignant à cette dent 4 stades d'éruption* (A-D, Fig. 1) et en utilisant une statistique par test non-paramétrique, OLZE ET COLL. ⁽¹⁸¹⁾ ont pu montrer qu'il est possible d'évaluer l'âge d'un individu (allemand) âgé entre 12 et 26 ans.

Cependant la précision de la méthode reste faible de telle sorte que pour une femme avec une 38 au stade B, l'âge présumé est de 18,9 ans avec pour une déviation standard une erreur de 3 ans. Ainsi cette personne a 68% de probabilité d'avoir un âge compris entre 15,9 et 21,9 ans! Pour OLZE ET COLL. l'âge moyen d'émergence* clinique des dents de sagesse est de : 17,5-25,5 ans pour F et 16-24 ans pour M chez des sujets finlandais ; 19 ans pour F et 18,5 ans pour M chez des sujets franco-canadiens ; 17,4-23,2 ans pour F et 19-19,5 pour M chez des sujets allemands. Par la suite OLZE ET COLL. ont complété leur étude d'émergence des dents de sagesse sur des sujets japonais (20,7-22,9 ans pour F et 19,2-22,1 ans pour M)⁽¹⁷⁹⁾ et chez des noirs d'Afrique du sud (16-19 ans pour F et M)⁽¹⁸⁴⁾.

Par rapport à cette dernière étude OLZE ET COLL. notent que de nombreuses autres études ont été préalablement réalisées sur le continent africain mais qu'elles ne sont pas utilisables d'un point de vue médico-légal car l'âge des sujets ne pouvait être certifié.

En conclusion, il est possible d'affirmer que l'éruption dentaire est un bon moyen pour évaluer grossièrement l'âge dentaire d'un sujet mais son imprécision et sa variabilité la rend impropre pour déterminer l'âge chronologique.

5.3 MÉTHODES QUALITATIVES DE LABORATOIRE

Leur existence ne sera citée que pour mémoire. ALTINI ⁽⁶⁾ recense pas moins de 13 techniques histologiques d'évaluation de l'âge à partir des germes dentaires qui, bien que performantes, ne sont pas applicables au sujet vivant. D'autre part, la méthode de Schour & Masler qui se base sur l'apparition d'une ligne néonatale dentinaire pour déterminer l'état de naissance et de vie extra-utérine n'est valable qu'en présence de ladite ligne, son absence ne permettant pas de conclure de l'état foetal ou de nouveau né.

5.4 MÉTHODES QUALITATIVES (MATURATION*, CHANGEMENTS RÉGRESSIFS*) CLINIQUES

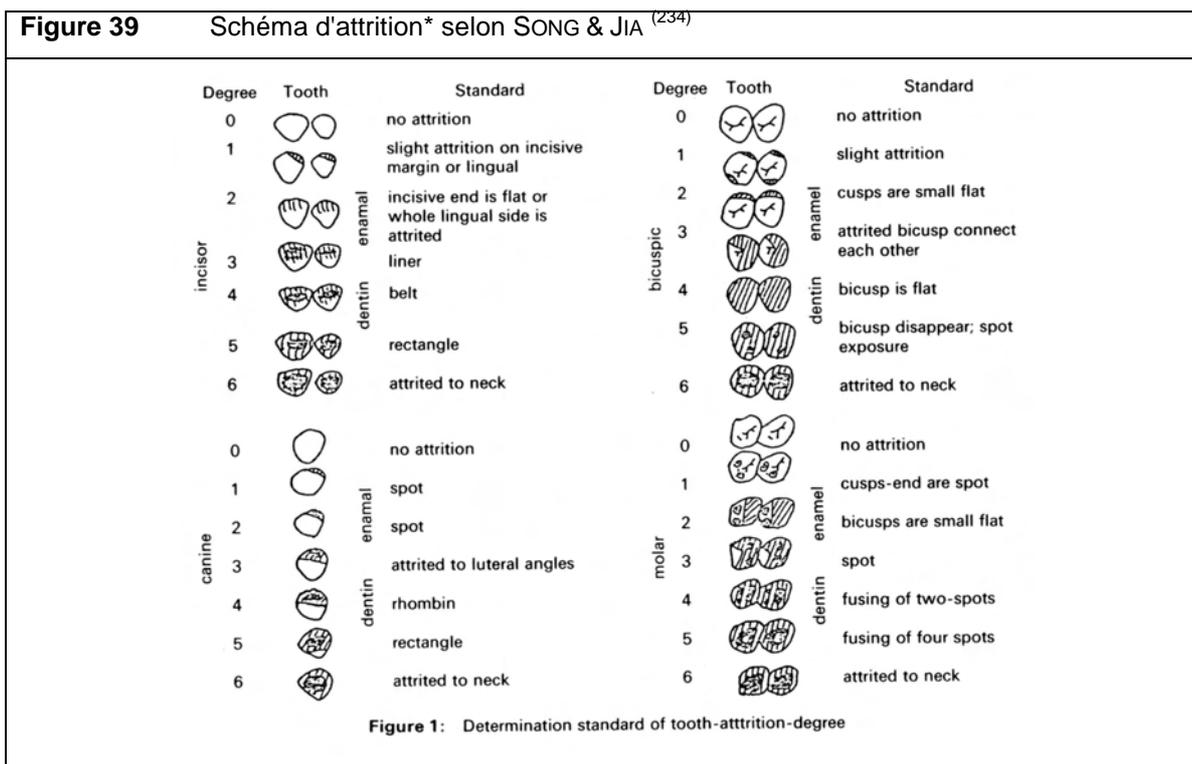
5.4.1 L'attrition* occlusale comme témoin de l'âge

Le grand avantage d'une telle méthode est qu'elle ne nécessite aucun moyen technologique et s'applique aussi bien au sujet vivant qu'au sujet décédé.

C'est l'observation des facettes d'usure sur les bords incisifs ou sur les cuspides des dents qui permet de déterminer le degré d'attrition* d'un sujet. Ainsi, à l'aide du degré moyen d'attrition* observé d'après le score d'attrition* selon la classification de Murphy (Tab. 14), AKPATA ⁽³⁾ a pu montrer un très bon coefficient de corrélation* ($r^*=0,979$) entre l'attrition* des premières molaires et l'âge de 88 sujets nigériens (âgés entre 20 et 80 ans)

Score d'attrition*	Description
0	Dent sur le plan occlusal sans dentine exposée
1	Dentine exposée sur 1 cuspide
2	Dentine exposée sur 2 cuspides
3	Dentine exposée sur 3 cuspides
4	Dentine exposée sur 4 cuspides
5	Coalescence de 2 aires dentinaires + 2 zones de dentine exposées
6	Coalescence de 3 aires dentinaires + 1 zone de dentine exposée
7	Coalescence de 4 aires dentinaires + 1 îlot central d'émail occlusal
8	Aire centrale de dentine entourée d'un bord d'émail
9	Exposition pulpaire
10	Dent réduite à la hauteur du bord gingival

Pour déterminer l'âge d'un sujet, SONG & JIA ⁽²³⁴⁾ ont établi, sur la base d'un échantillon de 544 chinois d'une région urbaine et 336 d'une région rurale, une formule mathématique (analyse par régression multiple successive) qui tient compte du degré d'attrition* de la denture selon un schéma personnel (Fig.39). Ils trouvent un coefficient de corrélation* légèrement supérieur pour les dents maxillaires et qui varie en fonction de l'âge tel que : $r=0,83$ à 13-20 ans / $0,65$ à 18-30 ans / $0,73$ à 25-40 ans / $0,70$ à 35-50 ans. La précision de la méthode dépend donc de la classe d'âge avec une erreur de ± 3 ans dans 96,3% des cas du groupe 13-20 ans et dans 57,6 à 75,1% des cas de tous les autres groupes.



Comme cette méthode s'effectue en décomptant les facettes d'usure pour une denture complète et que parfois des dents peuvent manquer, ces auteurs ont adapté leur méthode seulement aux molaires d'environ 500 femmes chinoises (province du Liaoning). Malgré un bon coefficient de corrélation* ($r^*=0,92$), la précision de la méthode ainsi modifiée chute à 51% d'âges estimés corrects avec une marge d'erreur de ± 3 ans et pour 18% des cas la marge d'erreur est de ± 7 ans⁽²³⁵⁾. Enfin YUN ET COLL.⁽²⁷³⁾ ont essayé d'utiliser un système de score d'attrition* étendu à toutes les dents présentes et restaurées ou cariées d'une population de sujets coréens mais la précision globale n'est guère améliorée : précision à ± 5 ans pour 64% des femmes et 63% des hommes et en sous-groupant, chez les moins de 45 ans précision de ± 5 ans pour 81% des femmes et 92% des hommes, chez les plus de 45 ans précision de ± 5 ans pour 82% des femmes et 90% des hommes.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s)

Si l'on retient l'étude d'AKPATA, on doit se rappeler que son échantillon est somme toute assez petit au niveau des sous-groupes et qu'il ne peut être utilisé comme référence que pour une population qui présenterait le même type de diète. Pour les études de SONG ET COLL., les échantillons semblent suffisants mais là aussi une étude sur la diète de ces populations chinoises est nécessaire pour pouvoir ensuite les utiliser comme références. Il est aussi intéressant de noter que l'attrition* est moins importante chez la femme que chez l'homme, peut être à cause d'une musculature massétérine moins développée?

Enfin en ce qui concerne la précision de ce genre de méthode, on a pu voir qu'elle n'est pas suffisamment grande pour pouvoir servir à elle seule de technique de détermination de l'âge. Par contre, comme il existe peu de possibilités de connaître l'âge dentaire chez l'adulte (après la croissance), elle peut jouer un rôle dans les techniques multicritères ou comme évaluation grossière primaire de l'âge. D'autre part, il se peut qu'avec la globalisation économique les habitudes alimentaires des populations changent de telle sorte que les études plus anciennes ne peuvent plus obligatoirement servir de référence géographique pour une population pourtant résidente dans la même région.

5.4.2 La maturation* dentaire comme indicateur de l'âge

5.4.2.1 Méthode qualitative par stades selon Demirjian

Pour DEMIRJIAN ⁽⁵⁴⁾ l'âge dentaire ne saurait être correctement représenté par la seule apparition en bouche des dents (émergence* gingivale, improprement nommée éruption*). En effet la première dent de lait apparaît vers 6 mois et la denture déciduale* est complète aux alentours de 2 ans et 6 mois à 3 ans. Ensuite les premières dents permanentes apparaissent vers 6 ans. Cependant la formation des dents est continue et peut être suivie par l'évolution de son degré de minéralisation, aussi appelé maturation, sur des clichés radiographiques. Ainsi DEMIRJIAN ET COLL. ⁽⁵⁷⁾ en observant les 7 dents permanentes mandibulaires gauches (dents de sagesse exclues) de 1'482 filles et 1'446 garçons franco-canadiens âgés entre 2 et 20 ans ont pu établir :

1. une table de 7 stades de maturation bien distincts pour chaque dent (non dépendants de la longueur des dents qui peut varier) (Fig. 40);
2. une table de score pondéré par dent (31 à 37) pour les filles et les garçons (Tab. 15);
3. un graphique de percentiles de l'âge civil relié au score de maturité dentaire (un pour les filles, un pour les garçons (Fig. 41);
4. une table de conversion du score de maturité en âge dentaire (un pour les filles, un pour les garçons, Fig. 41).

La méthode pour obtenir l'âge dentaire du sujet est donc simple : il faut sommer les scores de maturité pour les 7 dents permanentes observées de l'hémi-mandibule gauche sur l'OPT et reporter cette somme, qui correspond à la maturité dentaire globale, dans la table de conversion.

DEMIRJIAN & GOLDSTEIN ⁽⁵⁶⁾ ont affiné cette méthode avec : un échantillon plus large permettant d'inclure la tranche d'âge 0-2 ans qui faisait défaut dans l'étude initiale; la comparaison entre la technique aux 7 dents et une autre avec 4 dents (prémolaires et 1^{ère}, 2^{ème} molaires mandibulaires gauches); l'établissement de courbes du 3^{ème} et 97^{ème} percentile*. Ceci conduit à une très légère péjoration de la précision mais en accroissant l'applicabilité de la méthode : par exemple, l'âge d'un garçon avec un score global de maturité de 70 est de 6,7-9,5 ans dans 94% des cas contre 7,4-8,9 ans dans 80% des cas.

Stades & scores de maturation pour 7 dents permanentes mandibulaires selon DEMIRJIAN ET COLL. (57)

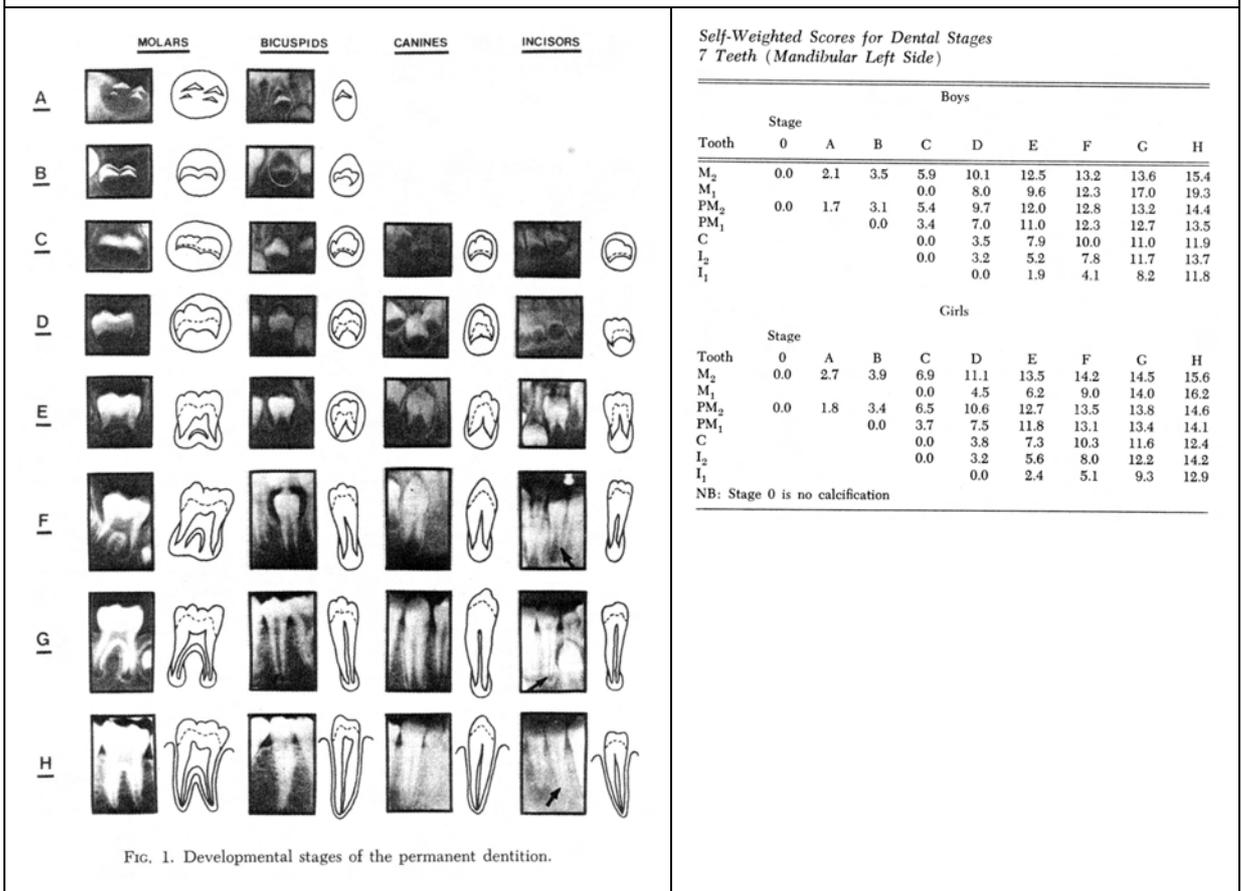


FIG. 1. Developmental stages of the permanent dentition.

Bien que le schéma global de formation dentaire soit identique pour les 2 sexes, en moyenne, les temps de maturation sont différents avec une minéralisation plus précoce chez les filles à partir de l'âge de 5-6 ans (58). Ceci a été confirmé par LEVESQUE ET COLL. dans une étude (132) incluant les dents de sagesse jusqu'à un âge médian de 14,5 à 16,3 ans correspondant à la fin de la formation de la couronne (début de formation de la racine) de ces dernières dents.

A ce moment les garçons prennent une légère avance sur les filles. En étudiant la relation entre maturation et émergence* des dents, ces auteurs ont montré que l'émergence suit le stade F de formation dans les deux sexes. Ainsi la survenue de la denture permanente se fait environ 4 mois plus tôt chez la fille, sauf pour ses dents de sagesse qui apparaissent en moyenne environ 6 mois plus tard, que chez le garçon (et l'apexification des dents de sagesse a lieu en moyenne 1,5 ans plus tôt chez le garçon) (58, 132), distorsion que ces auteurs appellent "dimorphisme* sexuel". Par ailleurs, en utilisant une autre classification (basée sur 9 stades de maturation) CLOW (48) a montré que l'âge chronologique était mieux corrélé à la formation radiculaire de la 2^{ème} molaire permanente qu'aux stades de formation

coronaire de la dent de sagesse. Enfin, bien que la méthode des scores la plus utilisée soit celle de Demirjian, il faut noter que d'autres auteurs utilisent des scores différents de maturation dentaire comme SAUNDERS ET COLL. ⁽²¹¹⁾ avec les 14 stades de Moorrees et coll. de 1963 ou PROY & GAUTIER ⁽¹⁹⁶⁾ qui ont rajouté des stades intermédiaires à ceux de Demirjian (voir aussi point suivant).

Figure 41 Percentiles* et conversion pour les filles et les garçons d'après DEMIRJIAN ET COLL. ⁽⁵⁷⁾

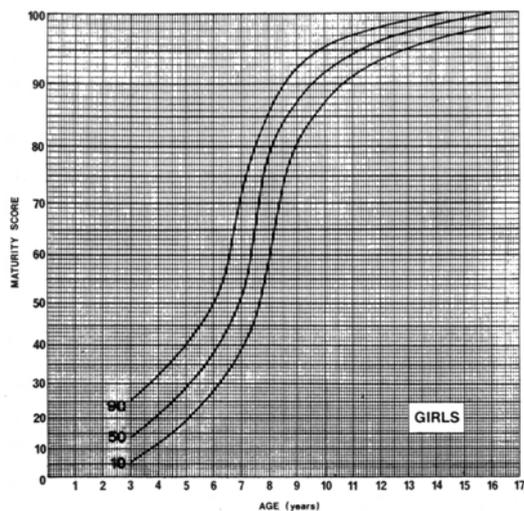


FIG. 3. Dental maturity percentiles (7 teeth).

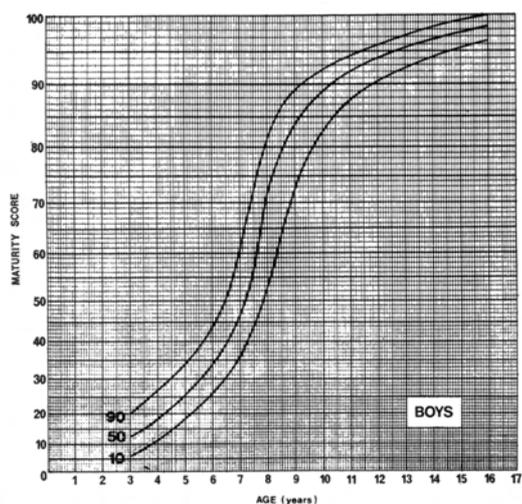


FIG. 2. Dental maturity percentiles (7 teeth).

Conversion of Maturity Score to Dental Age 7 Teeth (Mandibular Left Side)

Age	Score	Age	Score	Age	Score	Age	Score
Girls							
3.0	13.7	7.0	51.0	11.0	94.5	15.0	99.2
.1	14.4	.1	52.9	.1	94.7	.1	99.3
.2	15.1	.2	55.5	.2	94.9	.2	99.4
.3	15.8	.3	57.8	.3	95.1	.3	99.4
.4	16.6	.4	61.0	.4	95.3	.4	99.5
.5	17.3	.5	65.0	.5	95.4	.5	99.6
.6	18.0	.6	68.0	.6	95.6	.6	99.6
.7	18.8	.7	71.8	.7	95.8	.7	99.7
.8	19.5	.8	75.0	.8	96.0	.8	99.8
.9	20.3	.9	77.0	.9	96.2	.9	99.9
4.0	21.0	8.0	78.8	12.0	96.3	16.0	100.0
.1	21.8	.1	80.2	.1	96.4		
.2	22.5	.2	81.2	.2	96.5		
.3	23.2	.3	82.2	.3	96.6		
.4	24.0	.4	83.1	.4	96.7		
.5	24.8	.5	84.0	.5	96.8		
.6	25.6	.6	84.8	.6	96.9		
.7	26.4	.7	85.3	.7	97.0		
.8	27.2	.8	86.1	.8	97.1		
.9	28.0	.9	86.7	.9	97.2		
5.0	28.9	9.0	87.2	13.0	97.3		
.1	29.7	.1	87.8	.1	97.4		
.2	30.5	.2	88.3	.2	97.5		
.3	31.3	.3	88.8	.3	97.6		
.4	32.1	.4	89.3	.4	97.7		
.5	33.0	.5	89.8	.5	97.8		
.6	34.0	.6	90.2	.6	98.0		
.7	35.0	.7	90.7	.7	98.1		
.8	36.0	.8	91.1	.8	98.2		
.9	37.0	.9	91.4	.9	98.3		
6.0	38.0	10.0	91.8	14.0	98.3		
.1	39.1	.1	92.1	.1	98.4		
.2	40.2	.2	92.3	.2	98.5		
.3	41.3	.3	92.6	.3	98.6		
.4	42.5	.4	92.9	.4	98.7		
.5	43.9	.5	93.2	.5	98.8		
.6	45.2	.6	93.5	.6	98.9		
.7	46.7	.7	93.7	.7	99.0		
.8	48.0	.8	94.0	.8	99.1		
.9	49.5	.9	94.2	.9	99.1		

Conversion of Maturity Score to Dental Age (7 Teeth)

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

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s)

Le problème, avec l'utilisation des dents de sagesse comme marqueur biologique de l'âge est dû à l'inconstance de ces dents, ces dernières étant les dents les plus fréquemment absentes par agénésie : absence bilatérale des 3^{ème} molaires mandibulaire pour 7% de 182 filles et 11% de 187 garçons ⁽¹³²⁾; 14% de 2'000 patients écossais ⁽⁴⁸⁾; absence d'au moins une dent de sagesse pour 20-23% de la population ⁽¹⁷¹⁾.

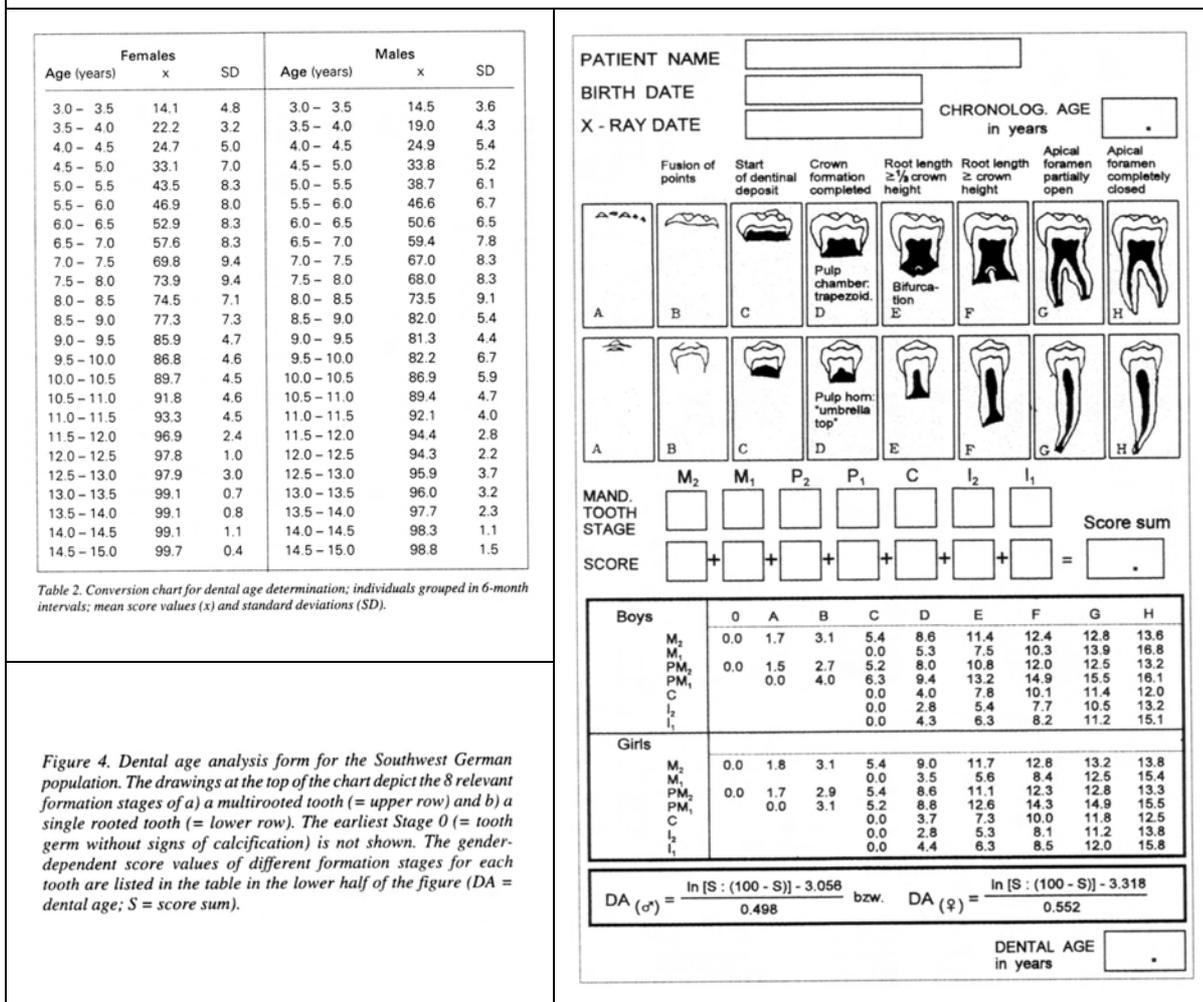
D'autre part le contrôle génétique très précis du développement dentaire (selon les 8 stades de Demirjian), malgré sa précision et le fait qu'il soit considéré par la plupart des auteurs comme identique pour n'importe quel être humain, peut montrer de légères variations temporelles pour différentes populations ^(54, 202) (Tab. 16).

Tableau 16 Différence retrouvée entre l'âge de maturation dentaire des sujets franco-canadiens de l'étude de Demirjian et coll. et des sujets d'autres études							
Année Publication, référence, 1 ^{er} auteur	Taille échantillon		Différence d'âge dentaire ÷ aux Franco-canadiens En ans		Origine	Tranche d'âge En ans	Remarque (F=filles) (M=garçon)
	F	M	F	M			
2002, ⁽⁶⁶⁾ ,	368	321	+0,616	+0,681	Brésil	6-15	Origine variée
1998, ⁽¹⁰⁹⁾	91	93	+2,82	+3,04	Inde (sud)	5-15	
2000, ⁽⁷²⁾	514	489			Allemagne (sud-ouest)	2-20	Avant 8 ans D>FC (M>F) Après 8 ans D<FC (M>F)
2001, ⁽⁵²⁾	39	42	+1,22	+1,01	Somalie	F 5,3-14,4 M 3,5-15,8	Somaliens vivant à Shieffield de même bonne condition socio-économique
	39	42	+0,52	+0,19	Angleterre		
1983, ⁽¹³⁹⁾	233	226	+++	++	USA, noir	2-16	Comparaison avec la population franco-canadienne par analyse d'appariement "goodness of fit" chi carré
	226	198	++	+++	USA, latino	2-16	
	103	99	+	+	USA, blanc	3-14	
2007, ⁽²⁰⁵⁾	584	410	+1,5 (à 11ans) +1,1 (à 12ans) +0,2 (à 15ans)	+1,4(à 13ans) +0,4 (à 15ans)	Pologne (caucasoï de*)	6-15	Patients en traitement orthodontique (donc pas complètement représentatifs de la population)
1998, ⁽¹⁷⁴⁾	133	128	+0,3	+0,2	Norvège	5,5-12,5	

Ainsi de nombreux auteurs ont relevé l'applicabilité de la méthode des scores selon DEMIRJIAN ET COLL. pour des populations d'origines différentes de

l'échantillon franco-canadien de départ mais concluent à la nécessité d'adapter la table de conversion des scores de maturité en âge dentaire pour la population de référence d'une région ou pour une origine ethnique donnée (52, 66, 109, 139, 205) à l'instar de ce que proposent FRUCHT ET COLL. (72) (Fig. 42)

Figure 42 Méthode des scores selon DEMIRJIAN ET COLL. adapté par FRUCHT ET COLL. (72) pour une population allemande



En ce qui concerne l'analyse statistique, on peut noter d'une manière générale qu'à l'origine, toutes les études s'intéressant à une modification de structure, qu'elle concerne la croissance (maturation) ou le vieillissement (dégénérescence), ont été modélisées sur la base d'une régression* linéaire (simple ou multiple) de la variable étudiée sur l'âge. Il en a été ainsi pour DEMIRJIAN & GOLDSTEIN (56) qui ont établi leurs courbes et les intervalles de confiance en les arrondissant (graphiquement) manuellement avec, obligatoirement, comme conséquence une certaine imprécision. Afin d'améliorer cela de nombreux auteurs ont testé diverses analyses avec d'autres fonctions mathématiques (Tab. 17).

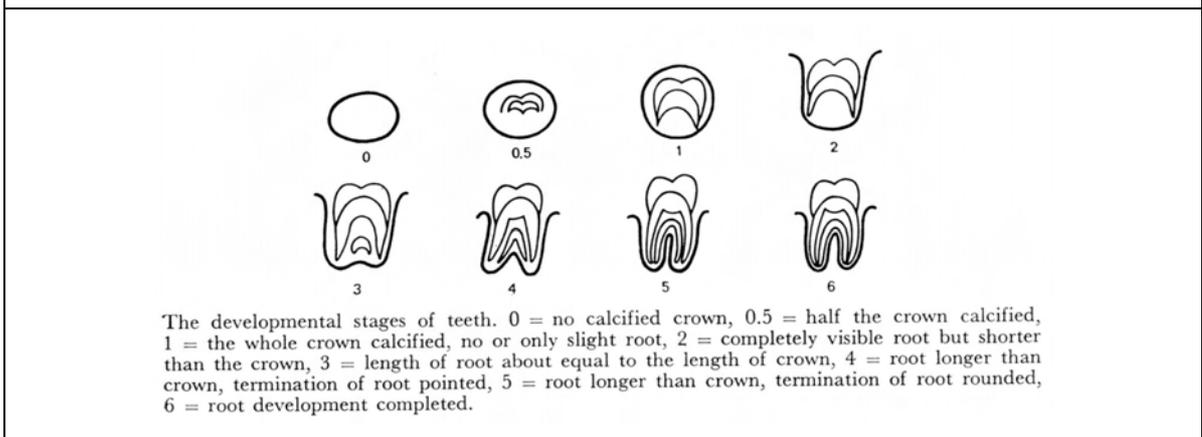
Tableau 17 Quelques autres types d'analyse mathématique pour la maturation par scores de DEMIRJIAN ET COLL.					
Année, référence	Lieu	Echantillon		Modèle Statistique	Remarques/ avantages selon les auteurs
		F	M		
2001, ⁽²⁴²⁾	Suède	242	243	Fonction cubique	<ul style="list-style-type: none"> - meilleure ligne de régression* testée parmi d'autres courbes (linéaire, logarithmique, inverse, quadratique, composée, sigmoïde, croissante, exponentielle, logistique) avec le logiciel SPSS - plus proche de la réalité - détermine un intervalle de confiance autour de l'âge prédit - autorise la comparaison entre populations - permet la construction d'une table d'âge spécifique à la population ÷ au score de maturité à partir d'un petit échantillon (d'âge connu)
2001, ⁽²⁴³⁾	Suède et Corée	242 137	243 173	Fonction cubique	<ul style="list-style-type: none"> - Suédoises montrent une avance moyenne de 6 mois sur les Coréennes - Suédois en avance de 1-2 mois sur les Coréens âgés de 3 à 17 ans
2001, ⁽²⁶⁴⁾	Belgique	1'258	1'265	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> - meilleure corrélation* chronologique /dentaire pour une population d'enfants âgés de 2 à 18 ans - peut ne pas s'appliquer à une autre population
2004, ⁽⁴³⁾	Finlande	1'119	1'094	Fonction polynomiale	<ul style="list-style-type: none"> - pour enfants de 1 à 19 ans avec adaptation des scores de Demirjian avec en plus, stade 0=pas de calcification, 1=crypte visible - calcul en 1/10^{ème} d'années et le résultat est en années - précision améliorée : différence moyenne de ±7,5 mois de l'âge attendu ÷ à l'âge réel
2005, ⁽²⁸⁾	Côte d'Ivoire Iran France	154 257 257	108 136 212	Prédiction Bayésienne	<ul style="list-style-type: none"> 4-16 ans 5,7-16 ans 3,7-16 ans - meilleure précision quels que soient l'âge et l'origine (géographique / ethnique) en comparaison à l'analyse de correspondance (Demirjian) et à la régression* linéaire
2008, ⁽¹²⁶⁾	Corée	1'383	1'323	Régression* linéaire multiple selon méthode "least square"	<ul style="list-style-type: none"> - Sujets âgés de 1 à 20 ans (3^{ème} molaires comprises dans l'étude) - erreur standard 0,62 ans pour les filles et 0,63 ans pour les garçons - précision à ±1 an pour 92,5% des filles et 92% des garçons
2007, ⁽²⁰²⁾	Grande-Bretagne	1'547		Méta-analyse	<ul style="list-style-type: none"> - 1,8 à 26,1 ans en tenant compte des 3^{ème} molaires mais pas du sexe. Echantillon multiethnique d'âges connus - méthode simple et précise : âge dentaire en moyenne > 0,29 an ÷ à l'âge chronologique avec pour plus grande différence 1,65 ans

Pour conclure, il semble bien que la méthode de Demirjian, moyennant quelques adaptations, comme l'inclusion des dents de sagesse dans le score global de maturation et l'utilisation d'un modèle mathématique amélioré évaluant l'âge chronologique par rapport au degré de maturation dentaire (âge dentaire), est efficace pour déterminer l'âge d'un sujet (vivant ou non) tant que ce dernier montre une denture en croissance ^(43, 126, 202). Néanmoins la précision diminue avec l'avancement dans l'âge étant donné qu'après 15 ans seule la dent de sagesse est encore en croissance et ses différents stades sont longs ⁽⁴³⁾. Enfin, différents auteurs ^(43, 126, 202, 242, 243, 264) s'accordent pour dire que la méthode mathématique des percentiles est bonne pour situer le degré de maturité dentaire d'un enfant d'âge chronologique connu, plutôt que pour prédire un âge chronologique à partir d'un degré de maturation dentaire observé. Pour terminer, il est bon de rappeler que l'évaluation radiologique peut être réalisée à l'aide d'un seul cliché radiologique, l'orthopantomogramme (OPT) ^(66, 122, 202) qui, bien que paraissant simple de réalisation, doit être effectué de manière irréprochable, à l'instar des recommandations de WOOD dans son article sur la radiologie maxillo-faciale en médecine légale, étant entendu qu'il s'agit d'une tomographie courbe dont seuls les objets situés dans la zone de coupe seront représentés avec précision sur l'image ⁽²⁶⁸⁾.

5.4.2.2 Autres méthodes qualitatives par stades de maturation*

LILIEQUIST & LUNDBERG ⁽¹³⁵⁾ ont évalué l'âge dentaire sur la base de stades de maturation établis par leurs soins (Fig. 43), à partir de 2 clichés type latéral oblique et 4 clichés intra-buccaux, afin d'assigner une valeur numérique au degré de développement dentaire pour que cela soit statistiquement utilisable. Ce qu'ils ont obtenu de plus marquant est l'absence de différence statistiquement significative de développement entre la gauche et la droite du patient et une corrélation* quasi parfaite entre l'utilisation de toutes les dents visualisées sur leurs examens et les 7 dents d'un quadrant mandibulaire (Annexe 1).

Figure 43 Stades de maturation dentaire selon LILIEQUIST & LUNDBERG ⁽¹³⁵⁾



LEINONEN ET COLL. ⁽¹²⁷⁾ ont utilisé, en se basant sur l'observation de la denture mandibulaire complète (dents de sagesse incluses) sur les OPT de 56 filles et 56 garçons finlandais, la méthode de maturation dentaire de Haaviko de 1970 mais simplifiée à 7 stades de calcification (Fig. 44). Selon cette méthode, qui tient compte du degré de maturation en fonction de la longueur attendue des racines dentaires, un score total est obtenu et est transcrit en âge à l'aide d'une fonction mathématique de régression* polynomiale [(parabole) $y = 9,38 - 0,167 \cdot x + 0,00207 \cdot x^2$ pour les filles et $y = 9,29 - 0,138 \cdot x + 0,00181 \cdot x^2$ pour les garçons] (Fig. 44) plutôt que par régression linéaire dont les résultats sont considérés comme trop inexacts pour ces auteurs. Le résultat déclaré est "une déviation standard de 1,02 ans pour les filles et 0,84 an pour les garçons". Ce type de présentation de leurs résultats consiste, en soi, en une **limite** à l'utilisation de leur étude!

Plus récemment DOMKEN ET COLL. ⁽⁶¹⁾ ont adapté la méthode de Nolla de 1950 (également basée sur des stades de maturation radiculaires (10) mais avec une table de conversion s'arrêtant à 17 ans). Ils se sont intéressés à des radiographies OPT à trois variables :

- x_1 concernant le degré d'apexification des dents de sagesse mandibulaires, sachant qu'entre 16 et 20 ans ces dents vont du stade 7 au stade 10, le stade 9 étant divisé en trois sous-groupes (Fig. 45);
- x_2 concernant le degré d'apexification des dents de sagesse maxillaires, beaucoup plus difficile à observer, les stades de Nolla sont conservés (Fig. 45);
- x_3 concernant le diamètre de la chambre pulpaire des 2^{ème} molaires mandibulaires = diamètre de la couronne / diamètre de la chambre pulpaire au collet.

Figure 44 Stades de calcification et résultat par régression linéaire selon LEINONEN ET COLL. ⁽¹²⁷⁾

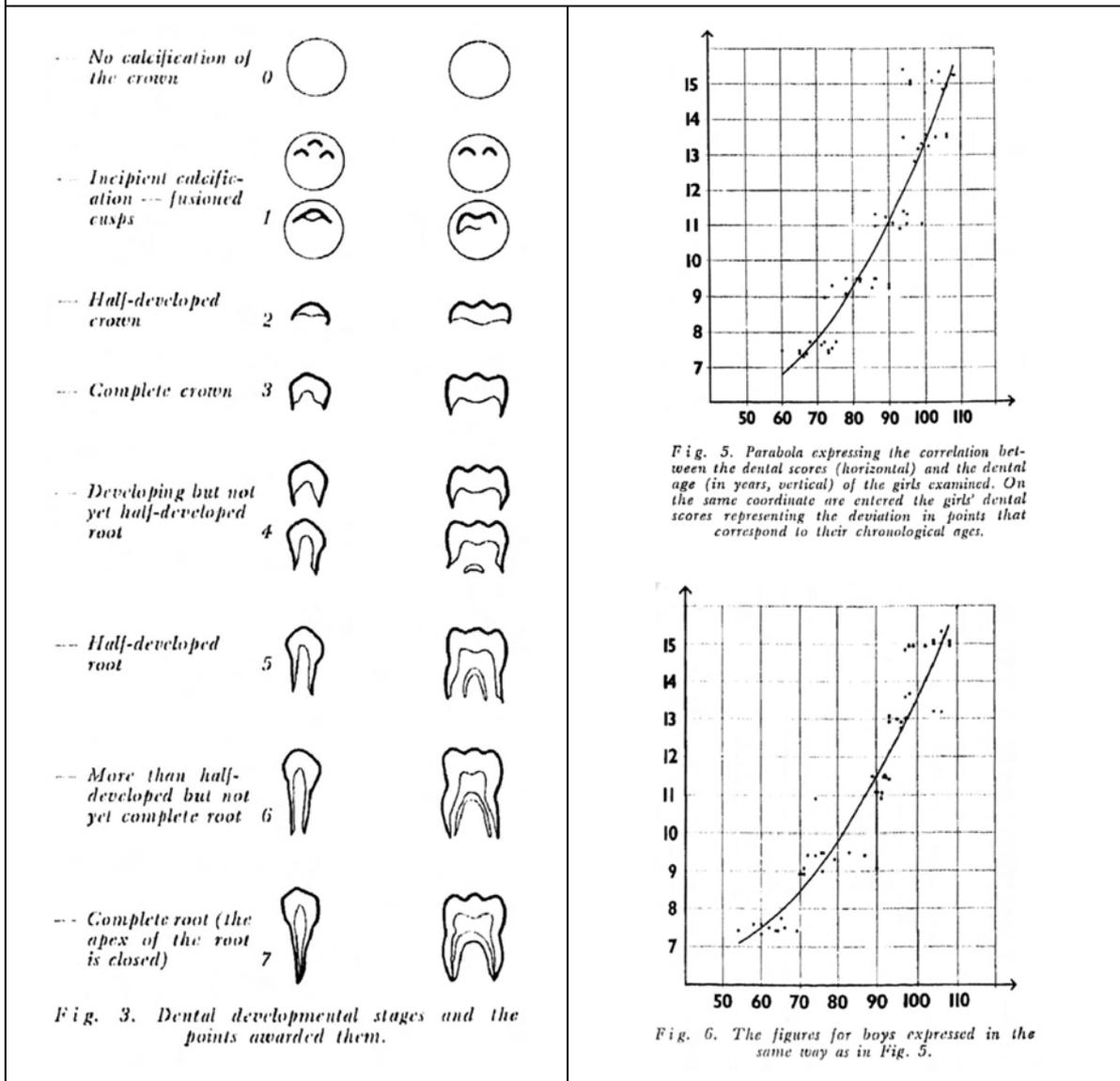
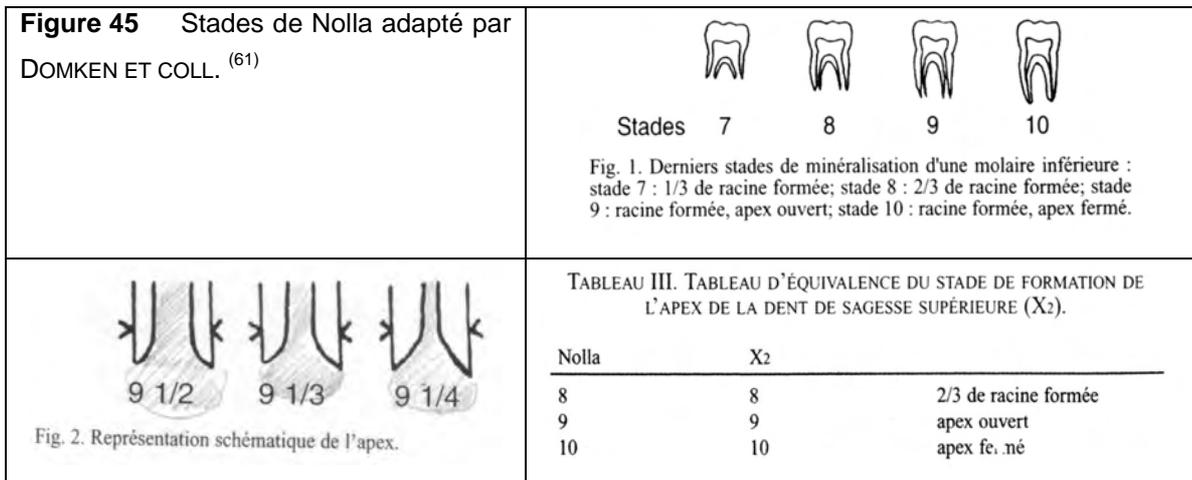


Figure 45 Stades de Nolla adapté par DOMKEN ET COLL. ⁽⁶¹⁾



Ensuite par régression linéaire, les stades obtenus pour chaque variable ont été déterminés par rapport à l'âge réel et un modèle prédictif a été établi tel que :

$\text{âge} = 0,26 \cdot x_1 + 0,68 \cdot x_2 + 3,37 \cdot x_3 + 0,008 \cdot (x_1 - 7,8) \cdot \text{sexe} + 2,75$ où $\text{sexe} = 0$ pour la fille et 1 pour le garçon avec pour résultat un écart type de 9 mois et une erreur extrême observée d'environ 30 mois. Ici aussi le manque d'information relatif aux résultats statistiques (intervalle de confiance, déviation standard, ...) **limite** les comparaisons possibles de cette méthode et donc son utilisation comme référence.

5.4.2.3 Méthodes quantitatives et "maturation* secondaire"

Lorsque les dents sont complètement formées, c'est le volume résiduel de la cavité pulpaire et/ou du canal radiculaire qui pourra être utilisé comme indicateur biologique de l'âge. Bien que d'autres modifications régressives (attrition*, perte d'attache desmodontale* par récession gingivale) peuvent aussi servir de marqueurs biologiques (voir plus haut), elles sont bien plus dépendantes des conditions externes (composante fibreuse de la diète, état et maintien de la santé parodontale : brossage, mesures d'hygiène) que ne l'est l'apposition de dentine secondaire. En effet en l'absence de processus carieux, la dentine secondaire sur les parois internes de la chambre pulpaire et des canaux radiculaires ne semble dépendre que de l'âge et du degré de force occlusale subie par la dent. Il est communément admis que la chambre occlusale se réduit avec l'âge par apposition de dentine secondaire surtout au niveau de son plancher. Cependant, PRAPANPOCH ET COLL. ⁽¹⁹²⁾ reportent une étude (Nitzan et coll.) qui montre une absence de corrélation* (par statistique de régression linéaire) entre l'âge et la formation de dentine secondaire sur 52 canines incluses et intactes chez des sujets âgés de plus de 39 ans. Eux mêmes, sur un petit échantillon de dents saines visualisées sur des clichés rétro-coronaires (40 F, 40 M) n'ont pu trouver de corrélation* forte entre le rapport des largeurs (b-c/a-d) et des hauteurs des cavités pulpaires (f-g/e-g) (Fig. 46) et l'âge des sujets.

Ces auteurs reconnaissent cependant la petite taille de leurs sous-groupes et proposent d'évaluer plutôt la corrélation entre l'âge et le volume pulpaire.*

Figure 46 Mesures de PRAPANPOCH ET COLL. ⁽¹⁹²⁾ pour l'évaluation de la taille pulpaire

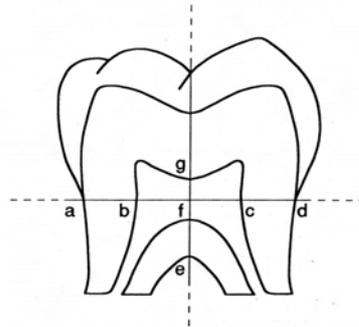


FIG. 1. Cross-sectional anatomy from the buccal aspect of a right permanent mandibular first molar and technique for obtaining measurements.

MORSE ET COLL. ⁽¹⁶⁴⁾ sur un échantillon plus important (500 cas) ont établi une corrélation* entre des groupes d'âge et différentes tailles mesurées de la pulpe (longueur et largeur du canal radiculaire à différentes hauteurs, Fig. 47). *La limite de cette étude est qu'elle ne permet de déterminer, sur l'observation radiographique des incisives, qu'un intervalle d'âge dans lequel peut se trouver un individu et non un âge au sein de cet intervalle.*

Figure 47 Mesures relatives à l'évaluation de la taille pulpaire pour MORSE ET COLL. ⁽¹⁶⁴⁾

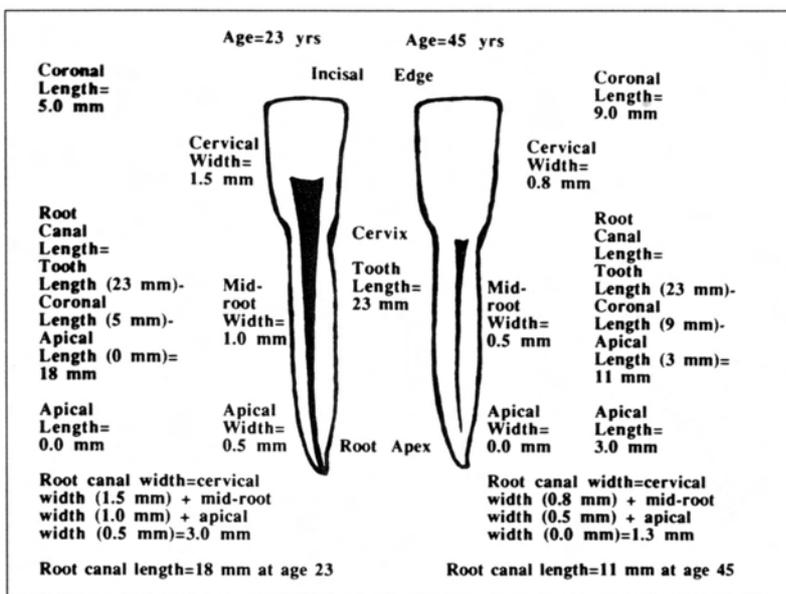
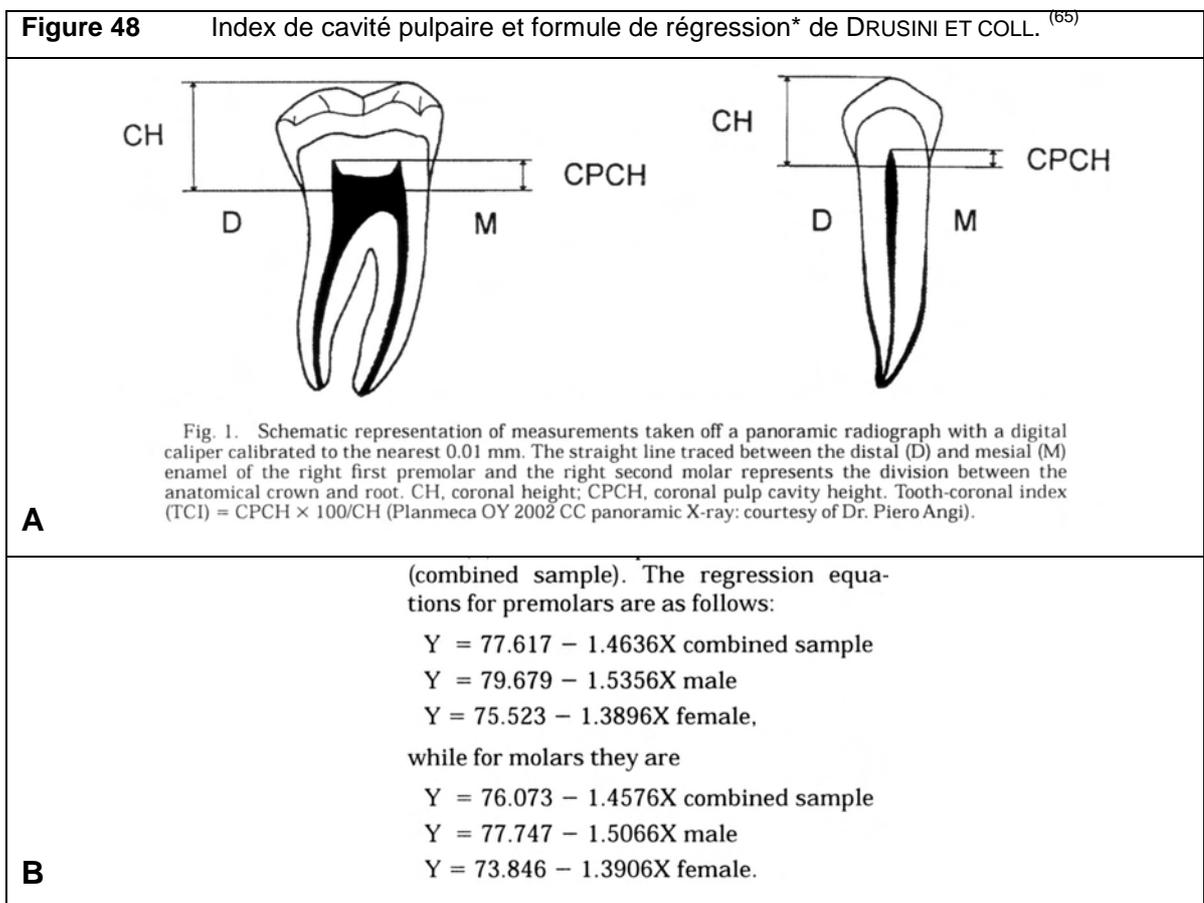


Fig 1 Representation of the radiographic measurements and calculations of hypothetical mandibular central incisors in patients 23 and 45 years of age.

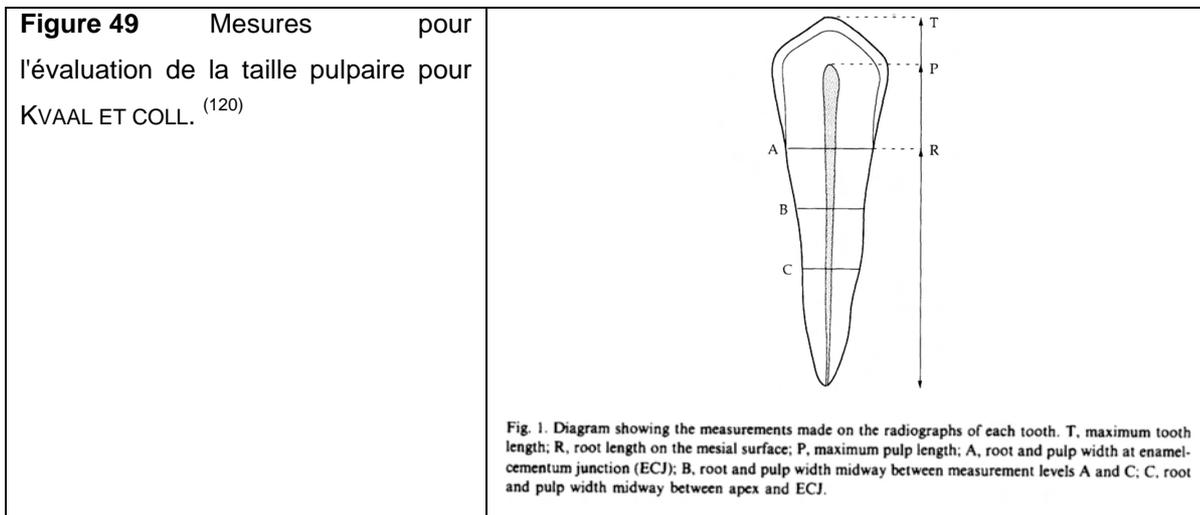
Table 4 Mean values (mm) for root canal measurements

Group	Coronal length	Apical length	Cervical width	Midroot width	Apical width
1. 17-29	3.969	0.031	1.109	0.452	0.184
2. 30-39	4.711	0.273	0.855	0.364	0.129
3. 40-49	5.380	0.726	0.661	0.274	0.061
4. 50-59	6.185	1.595	0.437	0.219	0.018
5. 60-69	6.826	2.891	0.294	0.167	0.004
6. 70-79	8.111	3.444	0.189	0.133	0.000

Pour DRUSINI ET COLL. ⁽⁶⁵⁾ il existe une bonne corrélation* entre l'âge et l'index de cavité pulpaire (Fig. 48 A) mesuré sur des radiographies OPT : $r = -0,87$ pour les sujets féminins et $r = -0,92$ pour les molaires de sujets masculins d'un échantillon de 100 squelettes historiques. Grâce à une formule de régression simple (avec Fig. 48 B) ils obtiennent une erreur d'évaluation de ± 5 ans pour 70% des cas de molaires d'individus masculins et ont pu noter, d'une manière générale et comme d'autres auteurs ⁽¹⁹²⁾, que *le sexe ne semble pas exercer une différence statistiquement significative pour la détermination de l'âge au moyen de cette méthode. L'avantage de l'emploi d'un index, comme le rapport de mesures de PRAPANPOCH ET COLL. d'ailleurs, est de ne pas nécessiter de calibration de la radiographie (ni le besoin de connaître le facteur d'agrandissement). De plus cette technique ne demande que peu de moyens (uniquement radiologique). Par contre pour l'évaluation de l'index sur les incisives la technique OPT est très nettement moins performante (par superposition de la colonne cervicale sur ces dents) que les radiographies intra-buccales.*



KVAAL ET COLL. ⁽¹²⁰⁾ ont mesuré sur des radiographies intra-buccales rétroalvéolaires différentes longueurs et largeurs relatives à la cavité pulpaire et au canal radiculaire de différentes dents (incisives et 2^{ème} prémolaires maxillaires, incisives latérales, canines et 1^{ère} prémolaires mandibulaires). Sur la base de différents rapports (Fig. 49) qui ont, comme déjà mentionné, l'avantage de supprimer l'importance du facteur d'agrandissement et aussi d'une erreur d'angulation du rayon central, leur étude a mis en évidence, à l'aide d'une formule par régression, que le rapport largeur de la pulpe/largeur de la racine était le mieux corrélé à l'âge lorsque toutes les valeurs de toutes les dents mesurées chez un individu étaient utilisées ($r = - 0,86$). *Cependant cette étude n'a été réalisée que pour des sujets norvégiens en bonne santé générale et possédant des dents saines et fonctionnelles.*



Par la suite PAEWINSKY ET COLL. ⁽¹⁸⁶⁾ ont confirmé, sur la base d'exams OPT et en adaptant la méthode avec une nouvelle formule de régression, que le ratio pulpe/racine était le mieux corrélé à l'âge. KOLTWEIT ET COLL. ⁽¹⁰⁸⁾ ont tenté d'augmenter la précision de la méthode en numérisant (scanner à plat à dos lumineux) les radiographies et en mesurant les mêmes distances (point de référence à l'écran déterminé par click de souris et ensuite l'ordinateur calcule les distances), sans amélioration : la méthode "manuelle", qui consiste à mesurer à l'aide d'un pied à coulisse les distances en observant les radiographies sous stéréomicroscope, reste plus performante. Plus récemment, WILLEMS ET COLL. ⁽²⁶³⁾ ont démontré que c'est bien l'utilisation d'un stéréomicroscope et d'un négatoscope diaphragmé (à la taille du cliché) qui était à l'origine de la meilleure précision et que dans ces conditions l'erreur moyenne par rapport à l'âge réel est

de 0,58 an pour une déviation standard moyenne de 7 ans (3 observateurs). *Enfin en 2007, MEINL ET COLL. ⁽¹⁵⁶⁾ on testé la méthode de KVAAL ET COLL. ⁽¹²⁰⁾ puis celle de PAEWINSKY ET COLL. ⁽¹⁸⁶⁾ sur 44 OPT d'individus autrichiens d'âge connu (entre 13 et 24 ans) avec une très nette sous estimation de l'âge pour la première méthode et une très nette surestimation pour la seconde.*

Une évolution de ces méthodes d'évaluation de la réduction de la taille pulpaire a été proposée par CAMERIERE ET COLL. Elle consiste à mesurer le rapport de surface de la pulpe sur la surface de la dent sur des radiographies de canines (rayon central en direction vestibulo*-palatine* comme pour un patient vivant) ⁽³³⁾ soit de manière standard et dans le sens mésio-distal (ce qui nécessite l'extraction de la dent pour pouvoir disposer le récepteur d'image distalement sous la dent. Le récepteur d'image pouvait être soit un capteur numérique, soit un film radiologique intrabuccal argentique conventionnel qui après développement chimique était scanné à 300 dpi). Toujours selon une méthode d'analyse par régression, l'erreur standard résiduelle est de 4,06 ans (1 seule incidence* radiologique standard) ou 3,62 ans (avec les 2 incidences* radiologiques)⁽³⁴⁾. Pour ces dernières études, les limites se situent au niveau de l'échantillon - squelettes de personnes d'origine caucasoïde* du début du 20^{ème} siècle (âgées entre 20 et 79 ans) – et de la technique radiologique qui, pour un meilleur résultat, nécessite l'extraction de la dent ce qui favorise aussi la précision du calcul de surface car aucune structure anatomique ne se superpose sur la dent!

Ces auteurs pensent, comme d'autres ⁽¹⁹²⁾, qu'une étude volumétrique de la cavité pulpaire serait la meilleure méthode. Ils pensent à l'utilisation de la TDM tout en estimant que cela semble difficile de réalisation en pratique courante. Cependant, l'arrivée sur le marché depuis une petite dizaine d'année de la technique du ConeBeam-CT (CBCT) a permis a YANG ET COLL. ⁽²⁷⁰⁾ de réaliser une étude pilote d'estimation du volume de la cavité pulpaire par rapport au volume radiculaire. L'avantage par rapport à la TDM étant une irradiation nettement diminuée avec un même degré de précision pour cette technique objective qui devrait pouvoir être adaptée à n'importe quelle dent.*

5.5 AUTRES MÉTHODES

5.5.1 Technique associant la maturation* dentaire et l'éruption*

GUSTAFSON & KOCH ⁽⁸³⁾ ont établi en 1974 une méthode visuelle d'évaluation de l'âge dentaire à partir d'un tableau associant l'état de maturation des dents déciduales* et permanentes, le degré d'éruption et l'âge chronologique (Fig. 50). Cette méthode a été validée par ces auteurs au moyen de 41 OPT (âge des sujets connu mais expérimentation "en aveugle") obtenant une différence moyenne d'environ ± 5 mois pour un intervalle de confiance de 95%.

Figure 50 Méthode d'évaluation de l'âge dentaire selon GUSTAFSON & KOCH ⁽⁸³⁾

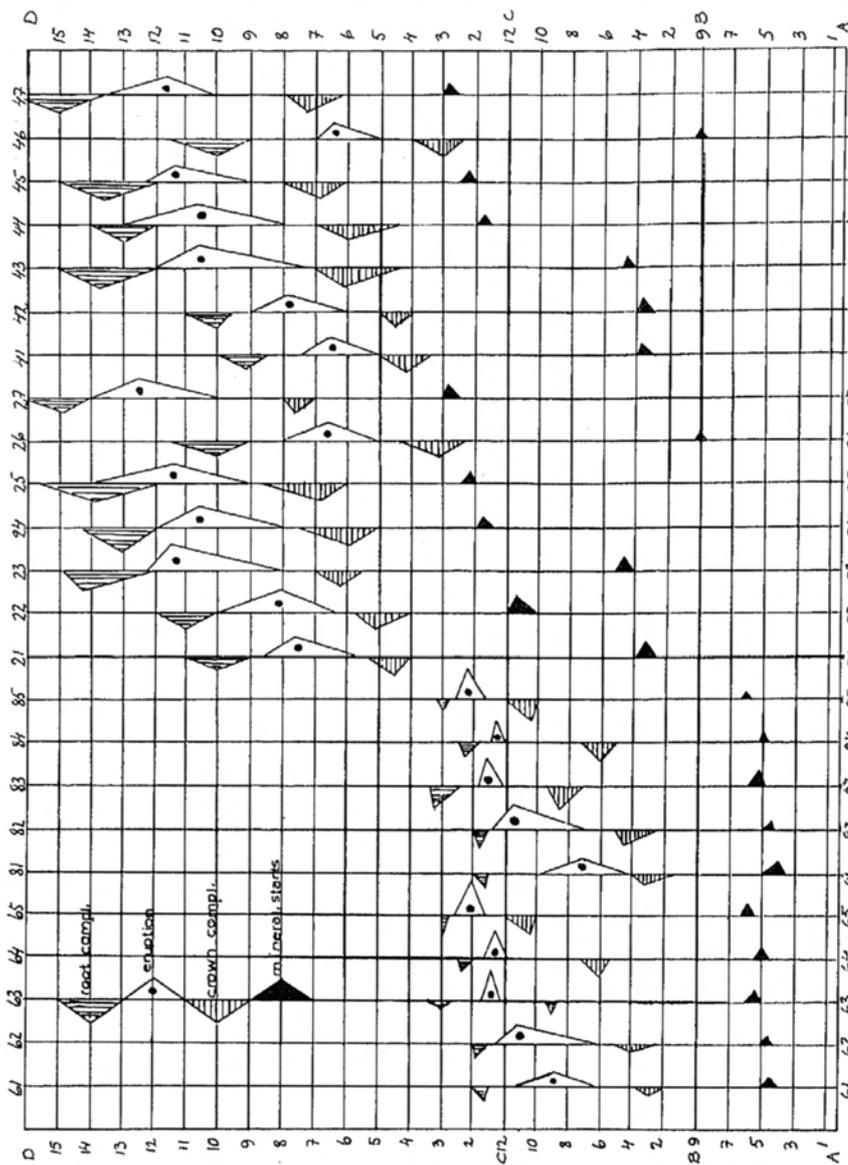


Fig. 1. Schematic representation of toothformation and eruption. Δ —B = intra-uterine life, B—C = first year of life, and C—D = 2—16 years of age. The base of the triangle represents range and the peak mean age.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Il est intéressant de relever que cette étude ne tient compte ni du sexe, ni de l'ethnie de l'individu investigué.

5.5.2 Technique associant l'éruption* dentaire et le "DMFT index"

OLZE ET COLL. ⁽¹⁸⁰⁾ ont tenté trouver une valeur prédictive de l'âge d'un sujet adulte à l'aide de l'état d'éruption et de l'index DFT des dents de sagesse (à l'exclusion de celles incluses dans l'os) associé à l'index DMFT de toutes les autres dents permanentes et de l'état de récession gingival/parodontal des 2^{ème} molaires. A partir de 275 OPT d'une population d'Allemands âgés de 18 à 30 ans, il a été possible de classifier correctement en dessous (ou égal) et en dessus de l'âge de 21 ans 71,4% des femmes et 69,7% des hommes de cet échantillon.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Le taux de femmes et d'hommes incorrectement classifiés ne permet pas à cette méthode d'évaluer à elle seule l'âge d'un sujet, tout au plus peut-elle servir d'indicateur grossier de l'âge. Elle doit, en tous les cas, être associée à d'autres techniques d'évaluation.

5.5.3 Technique associant des paramètres radiologiques du "DMFT index", l'état parodontal et la taille pulpaire

MORSE ET COLL. ⁽¹⁶⁵⁾ ont tenté, à l'aide de status radiographiques intra-buccaux de 200 sujets américains (155 caucasoïdes, 35 afro-américains, 20 asiatiques distribués en 118 F et 82 M) de tenir compte de 13 critères analysables sur ces clichés (Tab. 18 A) regroupés en une table de valeurs moyennes (Tab. 18 B). Ensuite à l'aide d'un traitement mathématique (régression multiple, Tab. 18 C), ils ont trouvé que le module statistique permettait une meilleure prédiction de l'âge que le modèle radiologique (53,5% de bonnes estimations versus 40% respectivement) mais avec tout de même une différence de $\pm 2,5$ ans par rapport à l'âge réel.

Limite(s), domaine d'application ou remarque(s) :

Bien qu'en moyenne ces résultats semblent relativement bons (âge prédit à ± 3 ans de l'âge réel) il faut tenir compte de la petite taille des sous groupes de l'échantillon (3 ethnies pour les 2 sexes) à mode de vie occidental du 20^{ème} siècle.

Tableau 18 A Les 13 critères d'analyse de radiographies intra-buccale selon MORSE ET COLL. ⁽¹⁶⁵⁾

B Valeurs moyennes d'après MORSE ET COLL. ⁽¹⁶⁵⁾

C Traitement mathématique des données d'après MORSE ET COLL. ⁽¹⁶⁵⁾

A

Parameter	Description
1. Root canal length	A representative mandibular incisor approximately 22 mm in length.
2. Cervical width (root canal width at the cervix)	The same representative mandibular incisor selected in 1.
3. Root canal length	Another representative single-rooted tooth approximately 22 mm in length.
4. Cervical width	The same representative single-rooted tooth selected in 3.
5. Alveolar crest bone level	The mandibular incisor region, or, if unavailable, another representative region. The measurement was taken from the cervix to the height of the alveolar crest.
6. Periodontal pocket bone level	As described in 5.
7. Attrition	A representative mandibular incisor, or if unavailable, or another representative single-rooted tooth. The selected tooth was then compared to a 22-mm-long tooth of a representative 25-year-old subject without attrition.
8. Restoration wear	A representative occlusal-covered posterior tooth was selected and compared to a wear-free amalgam restoration in a mandibular right first molar from a representative 25-year-old subject.
9. Root caries	The number of lesions was included.
10. Root canal fillings	The number of teeth with root canal fillings of any type was included.
11. Third molars	The number of erupted and impacted molars was included.
12. Missing teeth	The number congenitally missing, avulsed, and extracted teeth were included.
13. Restorations	The total number of restorations, regardless of type, was included.

B

G	RCL*	CW*	RCL-2*	CW-2*	AC*	PP*	At*	RW*	RC**	RCF**	TM**	MT**	Re**
1	18.0	1.1	18.9	1.4	0.9	1.8	0.5	0.3	0.0	0.1	2.8	3.8	3.9
2	16.2	0.8	17.7	1.1	1.6	3.1	0.8	0.8	0.2	1.1	1.5	4.2	13.1
3	15.5	0.6	17.0	0.9	1.8	3.1	1.2	1.1	0.4	1.2	1.0	5.3	13.4
4	14.2	0.4	15.6	0.6	2.3	3.7	1.7	1.5	0.9	1.9	0.8	8.0	12.9
5	12.0	0.3	13.6	0.4	2.5	4.2	1.9	1.7	1.1	2.3	0.8	7.5	13.9
6	10.4	0.2	11.6	0.3	2.8	4.3	1.9	2.0	2.4	3.8	0.5	8.9	12.6
Mn	14.4	0.6	15.7	0.8	2.0	3.4	1.3	1.2	0.8	1.7	1.5	6.3	11.6

G=group; RCL=root canal length (mandibular incisor); CW=cervical width (mandibular incisor); RCL-2=root canal length (other tooth); CW-2=cervical width (other tooth); AC=alveolar crest level; PP=periodontal pocket level; At=attrition; RW=restoration wear; RC=root caries; RCF=root canal fillings; TM=third molars; MT=missing teeth; Re=restorations; Mn=mean; * = millimeters; ** = number of cases

C

<p>General equation*</p> $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7 + b_8x_8$
<p>Specific equation</p> $Y = 60.2 - .98 (RC \text{ length}) - 11.72 (Cerv. \text{ width}) + 1.29 (Alv. \text{ crest}) + 2.13 (Attrition) + .22 (Missing \text{ teeth}) + .072 (Restorations) + .49 (Root \text{ canal fillings}) + .93 (Root \text{ caries})$
<p>*Y=predicted age; b₀=intercept value; b=regression coefficient of specific parameter; x=measurement of specific parameter; 1=root canal (RC) length; 2=cervical (Cerv.) width; 3=alveolar (Alv.) crest bone level; 4=attrition; 5=missing teeth; 6=restorations; 7=root canal fillings; and 8=root caries.</p>

5.6 À PROPOS DES DENTS DE SAGESSE COMME INDICATEURS DE L'ÂGE

Un des grands défis de la médecine légale est la détermination de l'âge entre 15 et 21 ans chez le sujet vivant. Si l'on fait abstraction des méthodes régressives une fois que l'entièreté de la denture permanente est en place, seules les dents de sagesse sont en croissance entre 14 et 21 ans et constituent ainsi un indicateur potentiel de l'âge pendant cette période ^(87, 153, 158, 161, 165, 172, 227, 230).

D'autre part les 3^{ème} molaires sont normalement les seules dents permanentes à émerger en bouche entre les âges moyens de 14,8 à 24 ans (Tab. 19) ⁽¹⁸³⁾

Tableau 19 Date d'émergence* de 18 dans différentes populations selon OLZE ET COLL. ⁽¹⁸³⁾	Table 2 Statistical data on the age of emergence of tooth 18, by stage, and significant population differences			
Stage	Sample	<i>n</i>	Mean age ^a	Median, LQ, UQ
A	German men	14	18.9±3.4 ^c	18.3, 15.5, 21.9
	German women	146	16.6±3.0 ^{b,c}	16.0, 14.1, 18.8
	Japanese men	43	19.9±2.9 ^d	20.1, 17.5, 22.0
	Japanese women	98	19.9±2.7 ^{b,d}	20.0, 18.3, 22.1
	South African men	18	15.7±3.5 ^{c,d}	14.6, 13.0, 17.6
	South African women	15	14.8±1.9 ^{c,d}	14.9, 13.0, 16.0
B	German men	32	20.8±2.7 ^c	21.2, 19.7, 22.9
	German women	172	18.9±3.2 ^b	18.4, 16.3, 21.4
	Japanese men	93	20.9±2.8 ^d	20.6, 19.0, 23.3
	Japanese women	129	20.6±2.2 ^{b,c}	20.4, 19.3, 22.3
	South African men	44	17.8±2.8 ^{c,d}	17.7, 16.2, 19.3
	South African women	16	18.0±3.0 ^d	17.2, 15.4, 21.3
C	German men	15	22.1±2.3	21.3, 20.1, 24.2
	German women	45	20.3±2.1 ^{b,c}	20.2, 18.8, 21.8
	Japanese men	91	21.5±2.2	21.5, 19.6, 23.5
	Japanese women	133	21.2±2.0 ^{b,d}	20.9, 19.4, 22.7
	South African men	24	20.7±2.5	20.5, 18.6, 22.6
	South African women	6	18.7±1.6 ^{c,d}	19.2, 17.2, 19.7
D	German men	31	23.4±2.3	24.0, 21.9, 25.2
	German women	3	24.0±0.8	24.2, 23.2, 24.7
	Japanese men	204	22.4±2.0	22.7, 21.0, 23.9
	Japanese women	223	22.3±1.8	22.4, 21.2, 23.6
	South African men	284	22.7±2.1	22.8, 21.3, 24.3
	South African women	60	22.0±2.6	22.3, 20.4, 23.8

n Number of cases; *LQ* lower quartile; *UQ* upper quartile
^a Mean age (in years) ± standard deviation (SD)
^b Statistically significant difference between Japanese and Germans (*p*<0.05)
^c Statistically significant difference between South Africans and Germans (*p*<0.05)
^d Statistically significant difference between Japanese and South Africans (*p*<0.05)

Par ailleurs OLZE ET COLL. ont montré, sur la base de plusieurs études ^(179, 181, 184), que les dates d'émergences* des dents de sagesse sont spécifiques aux populations étudiées, par exemple, les noirs d'Afrique du sud montrent une émergence plus précoce que les blancs d'Allemagne, alors que les asiatiques du Japon montrent l'émergence la plus retardée (Tab. 19). Ceci pourrait être lié aux

différences observées dans la taille du palais osseux qui est plus grand chez les noirs que chez les blancs et chez les blancs que chez les asiatiques.

Cependant ces mêmes auteurs relèvent le peu de précision de cette méthode : 68% des jeunes femmes allemandes avec leur 38 au stade B d'éruption (face occlusale de la dent dépassant la crête osseuse alvéolaire mais encore sous-gingivale) avaient un âge compris entre 15,9 et 21,9 ans! L'émergence des 3^{ème} molaires ne représente donc qu'un élément d'orientation qui doit être associé à d'autres méthodes d'évaluation de l'âge (voir chapitre 7 et les recommandations de l' "Internantional interdisciplinary study group on forensic age diagnostic" sur leur site : <http://www.charite.de/rechts-medizin/agfad/index.htm>).

En ce qui concerne la maturation, plusieurs techniques ont été utilisées. Certaines font référence à l'état de croissance de la dent de sagesse au moyen de mesures (méthodes quantitatives), d'autres reprennent le principe des stades de maturation tels que développé par Demirjian (Tab. 20).

Année, Référence, Lieu	Echantillon		Tranche d'âge (en ans)	Technique	Remarque
	F	M			
1983, ⁽¹⁷²⁾ , Afrique du Sud Noirs	278	222	15-21	Evaluation du degré d'évolution des racines de 48 sur 500 OPT en 8 stades mais selon une longueur attendue de la racine <i>Grade II: The root has reached a quarter of the future length.</i> <i>Grade III: The root has reached one third of the future length.</i> <i>Grade IV: The root has reached one half of the future length.</i> <i>Grade V: The root has reached two thirds of the future length.</i> <i>Grade VI: The root has reached three quarters of the future length.</i> <i>Grade VII: The root is practically fully developed. Only the apex is not closed.</i> <i>Grade VIII: The apex is fully formed and it is possible to see the contour of the periodontal membrane.</i>	-âge estimé à ±1,2ans âge réel avec IC 95% ou ±1,8ans pour IC 99% -apexification complète à 19 ans
1984, ⁽⁸⁷⁾ , Afrique du Sud Noirs	278	222	15-21	Re-évaluation de l'étude précédente ⁽¹⁷²⁾ avec 5 stades sur la longueur mésiale* de la racine de 48 <i>Stage 1: The root is visible with about 5 mm already formed and the cleft present.</i> <i>Stage 2: The root has reached one third of the final length.</i> <i>Stage 3: The root has reached two thirds of the final length.</i> <i>Stage 4: The root is virtually fully developed, only the apex is not closed; the root canal walls are convergent.</i> <i>Stage 5: The apex is fully formed and it is possible to see the contour of the periodontal membrane and the root canal walls are convergent.</i>	- âge déterminé à ±1,3 ans pour IC 95% ±2 ans pour IC à 99% - lorsque les molaires adjacentes sont absentes, la longueur de la racine de 48 est augmentée (+1,1mm sans 46, +2mm sans 47) dû à un développement accéléré et une éruption* prématurée de 48 dans ces situations, d'après les auteurs

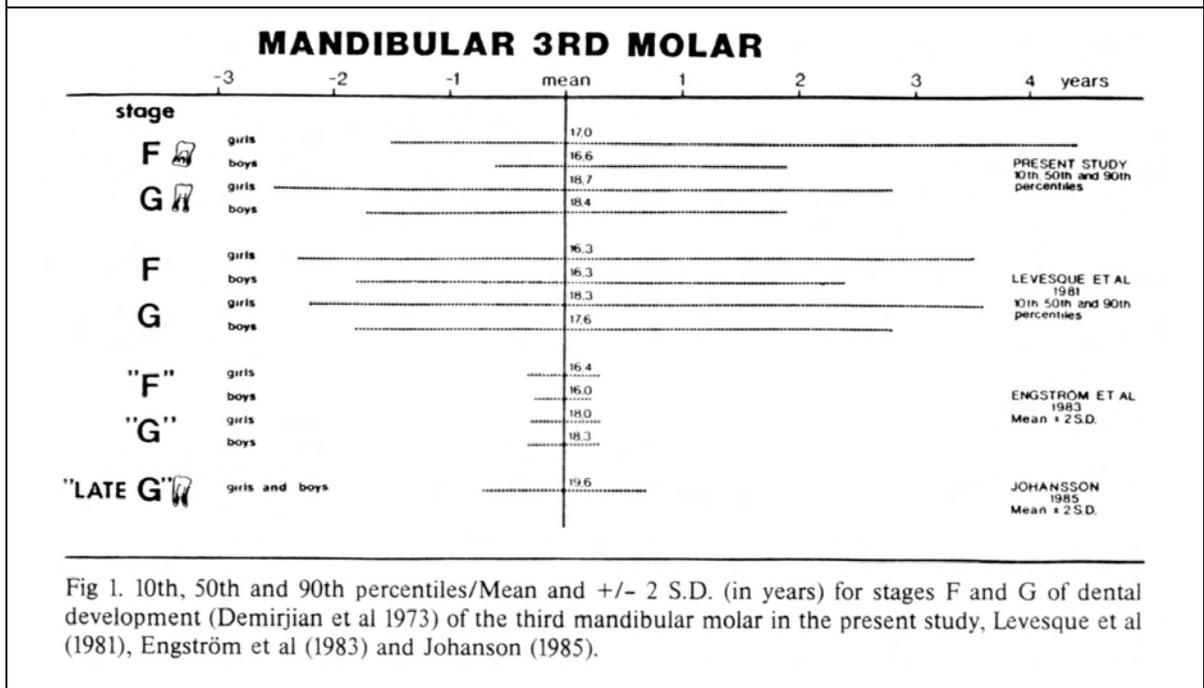
				<p>MEAN AGE (yrs) 16,8 (±1,4) 17,2 (±1,3) MEAN LENGTHS (mm) 5,3 (±2,1) 8,6 (±1,8)</p> <p>MEAN AGE yrs 17,8 (±1,4) 18,5 (±1,1) 19,2 (±1,20) MEAN LENGTHS mm 12,9 (±1,4) 15,4 (±1,9) 16,1 (±2,2)</p> <p>Fig. 1. Caliper and magnifying lens used for measurement of the mesial root length.</p>	
1992, ⁽¹¹⁵⁾ , Suède	354	323	15-25	<p>Evaluation selon 6 stades de longueur des racines des 3^{ème} molaires</p> <p>Fig. 2. Classification of the different stages of root development off the lower third molar.</p> <p>R1-R1/4 or 1: Root development initiated but less than 1/4 of the estimated root length has been formed R1/4-R1/2 or 2: 1/4 or more has been formed of the estimated full length of the root, but not yet 1/2 the estimated root length R1/2-R3/4 or 3: 1/2 or more of the estimated root length has been formed but not yet 3/4 of the estimated root length R3/4-Rc or 4: 3/4 or more has been formed but not yet the whole estimated root length Rc-Ac1 or 5: The full estimated root length has been formed but the initiation of apex closure has not started Ac1-Ac or 6: Apex closure has been initiated but the apex is not closed Ac or 7: Apex is fully closed, the root development is completed</p>	<ul style="list-style-type: none"> - âge estimé à ±1,9ans (1 déviation standard) et ±3,9 ans pour 2 déviations standard (IC à 95%) - Dimorphisme* sexuel (M avant F pour stades 2 à 5) - Pas de différence entre 38 & 48 - Précision altérable selon technique radiologique et selon observateur (16% de très fortes variations entre 2 observateurs de l'étude)
1995, ⁽¹¹⁶⁾ , Suède	354	323	15-20	<p>Etude sur 483 dents de sagesse inférieures (280 F/ 203 M) de ⁽¹¹⁵⁾ en éliminant les 3^{ème} molaires complètement formées du pool initial avec une mesure, assistée par ordinateur, des distances</p>	<ul style="list-style-type: none"> - pas d'amélioration avec l'ordinateur - utiliser un échantillon plus récent pour ces auteurs qui invoquent un facteur de confusion séculaire*
1993, ⁽²⁰³⁾ , Italie	528	513	8-25	<p>Propre table de minéralisation en 12 stades avec le dernier stade = dent apexifiée qui représente la maturation complète. Les 3^{ème} molaires sont apexifiées pour 50 F âgées entre 18 ans 4mois et 25 ans 5 mois et 43 M d'âge compris entre 18 ans 10 mois et 25 ans 9 mois</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dans leur étude aucun sujet avec 3^{ème} molaires apexifiées n'est plus jeune que 18 ans
2001, ⁽²⁶⁵⁾ , Allemagne	602	600	15-24	<p>1'202 OPT de patients d'origines différentes, minéralisation DDS évaluée en 7 stades. La minéralisation débute vers 15-16 ans et se termine avec l'apexification vers 20-21 ans.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - bonne précision moyenne 1,1 an de différence entre estimation et réel (IC à 95%), il existe des OUTLIERS* montrant une variation extrême (p. ex. 4,4 ans pour le 1^{er} stade qui s'étale entre 15 et 19,4 ans ou 9 ans pour le dernier stade entre 15 et 24 ans!)

				<p>Stage 1 or Ri-R 1/4 Early root development; < 1/4 of expected definitive root length</p> <p>Stage 2 or R1/4-R1/2 1/4 to 2/4 of expected definitive root length</p> <p>Stage 3 or R1/2-R3/4 > 1/4 but < 3/4 of expected definitive root length</p> <p>Stage 4 or R3/4-Rc > 3/4 but < 4/4 of expected definitive root length</p> <p>Stage 5 or Rc-Aci Expected definitive root length reached, apical constriction yet to start</p> <p>Stage 6 or Aci-Ac Apical constriction ongoing</p> <p>Stage 7 or Ac Apex is closed, root development is complete</p> <p><i>Table 1. Sex and national/ethnic distribution</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">males</th> <th colspan="2">females</th> <th colspan="2">total</th> </tr> <tr> <th>N</th> <th>%</th> <th>N</th> <th>%</th> <th>N</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Central European</td> <td>405</td> <td>33,7</td> <td>460</td> <td>38,3</td> <td>865</td> <td>72,0</td> </tr> <tr> <td>Southern European</td> <td>80</td> <td>6,7</td> <td>62</td> <td>5,2</td> <td>142</td> <td>11,8</td> </tr> <tr> <td>Turkish</td> <td>77</td> <td>6,4</td> <td>43</td> <td>3,6</td> <td>120</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>other</td> <td>38</td> <td>3,2</td> <td>37</td> <td>3,1</td> <td>75</td> <td>6,2</td> </tr> </tbody> </table>		males		females		total		N	%	N	%	N	%	Central European	405	33,7	460	38,3	865	72,0	Southern European	80	6,7	62	5,2	142	11,8	Turkish	77	6,4	43	3,6	120	10,0	other	38	3,2	37	3,1	75	6,2	<ul style="list-style-type: none"> - apexification plus rapide pour le groupe turc (20,6 ans) suivi par le groupe "autre" (20,7 ans) et par le groupe "europe centrale" (20,9 ans). Cependant au vu des faibles différences et de la marge d'erreur (déviatoin standard) ces auteurs admettent une apexification de la DDS 18 vers 21 ans ± 2 ans pour ces trois groupes. - dimorphisme* sexuel (M avant F) - DDS maxillaire avant mandibulaire (mais 68% cas synchrone, 16% cas maxillaire avant mandibule de un stade et 6% maxillaire avant mandibule de deux stades)
	males		females			total																																								
	N	%	N	%	N	%																																								
Central European	405	33,7	460	38,3	865	72,0																																								
Southern European	80	6,7	62	5,2	142	11,8																																								
Turkish	77	6,4	43	3,6	120	10,0																																								
other	38	3,2	37	3,1	75	6,2																																								
2002, ⁽¹⁵⁸⁾ , Belgique	677	498	16-22	<p>1175 OPT, classification en dix stades et formule de régression* multiple lorsque les quatre dents de sagesse sont présentes en bouche.</p> <p>En cas de racines multiples, c'est la dernière développée qui est prise en compte</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Âge estimé à $\pm 1,56$ ans F $\pm 1,52$ ans M (caucasoides) pour une déviation standard ATTENTION, sur 302 sujets entre 15-17 ans, 41 (13,6%) ont au moins une DDS apexifiée et 8 (3%) les quatre!! - dimorphisme* sexuel (M avant F) - DDS maxillaire avant mandibulaire 																																									
2002, ⁽²³⁰⁾ , USA	395	284	14-25	<p>95% d'observations sur OPT, 5% sur radiographies intra-buccales. Les stades F (racine de même taille que couronne) et G (parois radiculaires parallèles, apex* ouvert) sont difficiles à évaluer (car ces stades sont longs). Les auteurs ont donc rajouté un stade F1 (longueur racine=2x couronne) et G1 (parois radiculaires parallèles, apex* pas complètement fermé)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - dimorphisme* sexuel (M avant F) - DDS maxillaire avant mandibulaire - Hispanique avant Franco-canadiens 																																									
1992, ⁽¹⁶¹⁾ , USA			14-24,9	<p>-658 blancs, 158 noirs</p> <p>-Très légère meilleure prédiction en prenant une 3^{ème} molaire inférieure plus une supérieure</p>	<ul style="list-style-type: none"> - dimorphisme* sexuel (M avant F) - DDS maxillaire avant mandibulaire - Pas de différence Droite/Gauche 																																									

La question de la précision de l'évaluation de l'âge à l'aide du degré de maturation des dents de sagesse est diversement appréciée selon les auteurs. Pour SOLARI & ABRAMOVITCH ⁽²³⁰⁾ la différence moyenne entre l'âge réel (chronologique) et l'âge estimé est de ± 3 ans pour les femmes et $\pm 2,6$ ans pour les hommes de leur échantillon. THORSON & HÄGG ⁽²⁴⁸⁾ déclarent une différence de $\pm 4,5$ ans pour les femmes et $\pm 2,8$ ans pour les hommes entre l'âge estimé et l'âge réel (204 OPT de sujets suédois entre 14,5 et 24,5 ans) avec un intervalle de confiance de 95%. Ils concluent de leurs résultats et ceux d'autres études (Fig. 51) que l'estimation de l'âge chronologique d'un individu ne devrait pas se faire sur la base du

développement dentaire des dents de sagesse. NAMBIAR ⁽¹⁶⁸⁾ note que normalement un sujet montrant ses 3^{ème} molaires aux stades de maturations A à D devrait probablement avoir un âge chronologique inférieur à 18 ans alors qu'un individu avec ses dents de sagesse au stade H devrait probablement être plus âgé que 18 ans.

Figure 51 Stades de maturation des 3^{ème} molaire et "précision" de différentes études selon THORSON & HÄGG ⁽²⁴⁸⁾



Cependant, MINCER ET COLL. ⁽¹⁶¹⁾ notent qu'un individu caucasioïde* américain montrant sa 38 (ou 48) au stade H a un âge moyen de 20,5 ans ±2 ans pour une déviation standard, soit 90,1% de chance d'être plus âgé que 18 ans ... ou 9,9% d'être plus jeune que 18,5 ans ou plus vieux que 22,5 ans (Fig. 52).

Une autre grande question concernant les différences de maturation est en relation avec une éventuelle tendance génétique. En effet, des différences entre populations d'origines diverses ont pu être observées. SOLARI & ABRAMOVITCH ⁽²³⁰⁾ relèvent à ce propos la nécessité d'affiner les critères d'inclusion pour définir l'origine d'un échantillon de population plutôt que de se contenter, par exemple, d'une "origine hispanique", population qui par ailleurs montre un développement plus précoce des dents de sagesse que les Franco-canadiens de l'échantillon de Demirjian.

Figure 52 Probabilité et maturation des 3^{ème} molaires selon MINCER ET COLL. ⁽¹⁶¹⁾

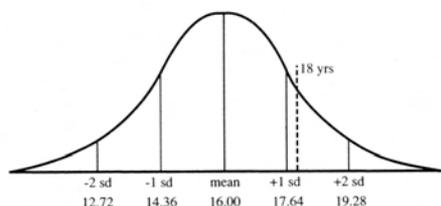


FIG. 2.—Representation of a normal distribution with a mean of 16.0 years and a standard deviation of 1.64—which corresponds to grade D for the mandibular molar in females (Table 2). Eighteen years of age is 1.21 standard deviations above the mean, and, from areas under the normal curve, this means that 89% of the cases are less than 18 years of age. In other words, there is an 11% chance of a female with grade D being 18 years of age or older.

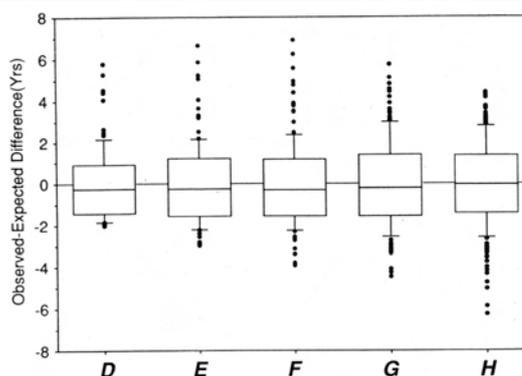


FIG. 3.—Box plots for observed-minus-expected age differences for the five grades observed for the maxillary third molar (sides pooled). The horizontal lines in each “box” are, from bottom to top, the 10th, 25th, 50th, 75th, and 90th percentiles. Dots outside the boxes are extreme individual cases. Mandibular results were highly concordant with these. Note that the error increases with age (from D through H) and that most of the extreme cases are positive—so the actual chronologic ages were greater than predicted from molar formation in these instances.

D'autre part MARTIN-DE LAS HERAS ET COLL. ⁽¹⁵³⁾ ont noté que les Maghrébins et les Espagnols vivant au Maghreb présentent une maturation plus rapide de leurs 3^{ème} molaires que le Espagnols d'Espagne ce qui suggère une importance supérieure des facteurs environnementaux (géographiques donc socio-économiques et nutritionnels) aux facteurs génétiques (ethnie, hérédité). L'étude de SISMAN ET COLL. ⁽²²⁷⁾, qui pourtant clament une différence ethnique pour la maturation des 3^{ème} molaires entre les sujets turcs de leur échantillon et d'autres échantillons (japonais, allemand, noir africain, ...), montre bien une différence aux premiers stades de développement (A-E) mais surtout, hormis les Espagnols au stade H, des valeurs remarquablement similaires aux stades G et H de sujets aussi ethniquement différents que des Japonais, des Allemands, des Noirs Africains et des Turcs! (Tab. 21)

Tableau 21 Age moyen aux différents stades de maturation des 3^{ème} molaires tel que reporté par SISMAN ET COLL. ⁽²²⁷⁾

Demirjian Stage	Gender	Japanese (Olze et al [15])		German (Olze et al [15])		Spanish (Prieto et al [17])		South African (Olze et al [15])		Turkish (Present Study)	
		Mean	SD ^a	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
D	Male	18.20	3.30	16.30	3.10	15.08	1.04	15.08	1.04	12.90	1.50
	Female	18.00	2.80	15.50	2.60	15.11	1.00	15.11	1.00	13.60	2.24
E	Male	18.50	2.70	16.70	2.30	15.22	1.03	15.20	2.40	14.42	1.69
	Female	18.60	2.30	16.80	2.30	16.00	1.43	15.90	2.30	15.42	2.40
F	Male	20.40	2.40	18.30	2.20	16.42	1.34	18.70	2.30	16.90	1.50
	Female	20.50	2.20	19.10	2.50	16.83	1.56	21.30	2.50	16.84	2.10
G	Male	21.80	2.50	20.60	2.40	17.92	1.50	20.80	2.20	18.08	2.38
	Female	21.80	2.00	21.70	2.10	18.41	1.44	19.80	2.30	19.29	2.32
H	Male	22.70	2.00	22.70	1.90	19.74	1.09	22.60	1.90	22.10	2.87
	Female	22.40	2.10	23.00	1.80	19.66	0.98	22.40	1.90	22.66	2.18

^a SD indicates standard deviation.

6 DES LIAISONS ENTRE ÂGES OSSEUX, DENTAIRE ET CIVIL

En ce qui concerne les liaisons entre ces 3 âges, la littérature est moins prolixue que pour les différentes méthodes et techniques d'évaluation de l'âge osseux ou de l'âge dentaire (voir les chapitres 4 et 5 ci dessus). Il existe cependant des articles relatant spécifiquement les liaisons entre âge dentaire et âge osseux ou âge chronologique.

6.1 ÂGE OSSEUX, ÂGE DENTAIRE ET PIC DE CROISSANCE*

KRAILASSIRI ET COLL. ⁽¹¹⁰⁾, ont tenté de déterminer les liaisons entre âge dentaire (par stades de maturation selon Demirjian des dents 33, 34, 35, 37 et 38) et âge osseux (à l'aide de 5 des 11 critères de maturation selon Fishman) dans un échantillon de population thaïlandais (222 F, 139 M). Leur objectif étant, en cas d'excellente corrélation* entre ces 2 âges, de pouvoir utiliser uniquement l'âge dentaire comme marqueur de position relatif au pic de croissance et donc de pouvoir se passer des radiographies de la main pour la planification de traitement orthodontique. Pour ce qui concerne les dents de sagesse, cette corrélation* était faible ($r^*=0,31$ F et $0,47$ M), par contre elle s'est révélée bonne pour la maturation des canines et l'âge osseux, laissant supposer que les canines mandibulaires pourraient être un bon marqueur du pic de croissance et confirmant ainsi l'étude de CHERTKOW ⁽⁴⁶⁾. Ce dernier avait trouvé une forte corrélation* entre le stade de maturation G (selon Demirjian, dernier stade avant l'apexification) de la canine mandibulaire et la maturation* osseuse apparaissant au pic de croissance (visibilité du sésamoïde du pouce, recouvrement épiphysaire de la phalange moyenne du 3^{ème} rayon*, calcification du crochet de l'os crochu du carpe selon TW2) pour les enfants et adolescents caucasoïdes (F et M) de son échantillon (ce ne fut pas le cas pour les sujets afro-américains). Toujours sur ce point, COUTINHO ET COLL. ⁽⁴⁹⁾ ont confirmé que ce stade G de calcification de la canine mandibulaire est bien corrélé à l'âge osseux (ce dernier établi selon la méthode de l'atlas de GP et alors, $r=0,53$ à $0,85$) pour leur échantillon de 215 filles et 200 garçons américains caucasoïdes âgés de 7 à 16,5 ans. Ils ont aussi noté que : le pic de croissance débute entre le stade F et G de maturation de la canine mandibulaire, soit en moyenne à 10,5 ans pour les filles et 12 ans pour les garçons ; l'os

sésamoïde du pouce est présent au stade G de maturation de la canine mandibulaire pour 81% des enfants de leur échantillon. Malgré cette littérature concordante on trouve des avis divergeants : So⁽²²⁹⁾ par exemple n'a retrouvé que 39 filles sur 102 avec calcification du sésamoïde du pouce (mais pour 97% de celles-ci cette calcification était déjà terminée / évaluation de l'âge osseux par GP) corrélé au stade de maturation G de la canine mandibulaire ... mais la valeur de cette étude est discutable, l'échantillon étant composé de 102 Chinoises, toutes dans la tranche d'âge civil de 12 ans! LIEBGOTT⁽¹³³⁾ quant à lui a utilisé la méthode de Nolla relative à l'éruption dentaire pour l'âge dentaire et la méthode des scores de TW pour l'âge osseux et trouve que seul ce dernier est bien corrélé au pic de croissance. Mais à nouveau, cette étude est critiquable de par la petite taille de son échantillon (32 garçon canadiens caucasoïde* de la classe moyenne âgés entre 4 et 16 ans). Elle utilise par ailleurs la méthode la moins précise qui soit pour déterminer l'âge dentaire et en plus, sur la base de clichés radiologiques de type "latéral oblique" qui sont généralement de piètre qualité, a contrario de la méthode probablement la plus précise pour déterminer l'âge osseux (TW).

Malgré tout, le consensus présenté plus haut peut également être critiqué. Par exemple, en ce qui concerne l'étude de KRILASSIRI ET COLL. où le taux d'agénésie des dents de sagesse n'est pas indiqué et où la stratification par classe d'âge n'est pas spécifiée (on ne peut donc savoir combien de sujets ont entre 17 et 19 ans) cela réduit la valeur de cette étude, particulièrement en rapport avec l'utilité que pourrait avoir l'évaluation de la maturation de la dent de sagesse comme indicateur de l'âge civil en médecine légale pendant la période de l'adolescence. D'autre part, comme le relève CHERTKOW, la période du pic de croissance est chronologiquement variable et l'on ne peut donc pas forcément l'utiliser comme un marqueur stable d'un âge civil donné comme cela serait nécessaire en médecine légale. Le résultat de son étude n'est valide que pour son échantillon de sujets caucasoïdes* et ne s'applique pas à la population afro-américaine.

6.2 DE L'ÂGE OSSEUX ET DE L'ÂGE DENTAIRE OU DE L'ÂGE CIVIL

MAPPES ET COLL.⁽¹⁵²⁾ ont trouvé pour deux groupes d'enfants américains caucasoïdes des deux sexes âgés de 12 à 13,5 ans provenant de deux régions géographiques différentes (nord versus sud) une certaine constance de l'âge osseux (évalué selon Fishman) mais une différence moyenne d'environ 1,5 ans de retard de l'échantillon sud pour l'âge dentaire (évalué d'après les 15 stades de

maturation* de Moorrees et coll. et additionnés de 4 stades d'éruption personnels). Ils concluent à l'absence de liaison entre l'âge osseux et l'âge dentaire. Cela semble toutefois légèrement péremptoire si l'on tient compte des **limites possibles de cette étude** : la tranche d'âge de la population étudiée n'est que de 1,5 ans ; l'utilisation de l'éruption dentaire réduit probablement la précision qui aurait pu être obtenue avec les stades de maturation dentaire de Moorrees seuls ; l'état de santé bucco-dentaire (donc le risque de perte prématurée des dents déciduales* avec possible encombrements dentaires et retards d'éruption et donc évaluation d'âge dentaire retardé dès l'instant où l'on tient compte de l'éruption dentaire pour établir cet âge) entre l'échantillon nord et sud n'a pas été commenté. Or dans leur figure 2, les extraits d'OPT A et C (M et F du nord) montrent des dents exemptes de toutes caries ou restaurations alors que les extraits d'OPT B et D (M et F du sud) montrent respectivement les dents 16, 55, 85, 46 et 16, 55, 46 avec des restaurations à l'amalgame dont les cavités semblent s'étendre jusqu'à la dentine!

Contrairement aux auteurs précédents, LILIEQUIST & LUNDBERG ⁽¹³⁴⁾ ont trouvé une bonne corrélation* ($r=0,88$) entre l'âge osseux (d'après mesure quantitative de rapport de longueurs des os du poignet selon Schmidt & Moll) et l'âge dentaire (d'après mesure, développée par leur soins, en 8 stades de maturation sur les incisives, canine, prémolaires et 2 premières molaires permanentes d'un quadrant mandibulaire) pour leur échantillon de 287 enfants (F et M) suédois âgés de 6,5 à 15,5 ans. **La limite principale d'applicabilité**, par exemple pour la médecine légale, de cette étude, réside dans la période d'âge investiguée qui ne concerne que l'enfance et le début de l'adolescence.

Toujours chez des enfants suédois (72 F et M âgés de 12 à 19 ans), KULLMAN ⁽¹¹⁴⁾ trouve une bonne corrélation* entre l'âge osseux (selon GP) et l'âge chronologique ($r^*=0,64$ pour les filles et $0,74$ pour les garçons) mais une moins bonne corrélation* entre l'âge dentaire (d'après la mesure de longueur de la racine de la dent de sagesse mandibulaire) et l'âge chronologique ($r=0,36$ pour les filles et $0,65$ pour les garçons). De plus, la différence moyenne retrouvée entre l'âge chronologique et l'âge osseux était de $-0,4$ ans (non significative) alors que cette différence était de $-1,3$ ans entre âge dentaire et chronologique. KULLMAN en conclut que l'âge dentaire est moins fiable que l'âge osseux pour estimer l'âge chronologique. Mais cet auteur reconnaît **les limites de son étude** : échantillon trop petit (seulement 2 sujets entre 17,5 et 18,5 ans!) ; surestimation de l'âge

chronologique par l'âge dentaire, car les sujets présentant leurs dents de sagesse complètement formées (apexifiées, donc de maturité précoce) n'ont pas été inclus dans l'étude. Ainsi seuls les individus à maturation dentaire normale ou retardée ont contribué à établir l'âge selon cette méthode ce qui, finalement, biaise les résultats.

6.3 DES ÂGES OSSEUX, DENTAIRE ET CHRONOLOGIQUE

Pour DEMIRJIAN ET COLL. ⁽⁵⁵⁾ le développement dentaire est un meilleur indicateur de l'âge chronologique (civil) que le développement squelettique (âge osseux) alors que CHARLET ⁽⁴⁴⁾ évoque une étude de Proy et coll. de 1981 réalisée sur 206 enfants et adolescents français qui montre une haute corrélation* entre l'âge osseux, l'âge dentaire (d'après la calcification) et l'âge chronologique. En fait, il ne ressort pas de consensus sur ce sujet dans la littérature.

Ainsi, LEINONEN ET COLL. ⁽¹²⁷⁾ en prenant l'âge chronologique de leur échantillon de 53 garçons finlandais comme référence (compris entre 7 et 16 ans) ont trouvé une déviation standard de 0,84 ans pour l'âge dentaire (selon les stades de maturation de Haavikko 1970) et 0,82 ans pour l'âge osseux (estimé selon TW). Comme la différence entre ces deux valeurs est statistiquement non significative, cela laisse supposer une bonne corrélation* entre ces trois âges. **Deux limites sont néanmoins clairement visibles pour cette étude** : l'échantillon n'est pas très grand et les résultats ne se sont pas confirmés pour l'échantillon féminin (56 cas) avec les déviations standard respectivement de 1,02 ans (dentaire - chronologique) et 0,62 (osseux – chronologique).

ENGSTRÖM ET COLL. ⁽⁶⁷⁾, sur la base d'une étude des stades de maturation simplifiés de la dent de sagesse mandibulaire visualisée sur OPT (Fig. 53) et du degré de maturation épiphysaire de certains os de la main et du radius sur radiographie standard (Fig. 53) d'un échantillon d'adolescents (123 F / 88 M) suédois d'âges connus, ont trouvé une liaison forte et fiable (étude par régression* linéaire et corrélation*) entre ces différents âges tels que, pour $p < 0,001$: le coefficient de corrélation* âge dentaire – âge chronologique était de 0,77 pour la fille et 0,85 pour le garçon ; dans l'ensemble entre l'âge dentaire et l'âge osseux $r = 0,72$; dans l'ensemble entre l'âge chronologique et l'âge osseux $r = 0,88$.

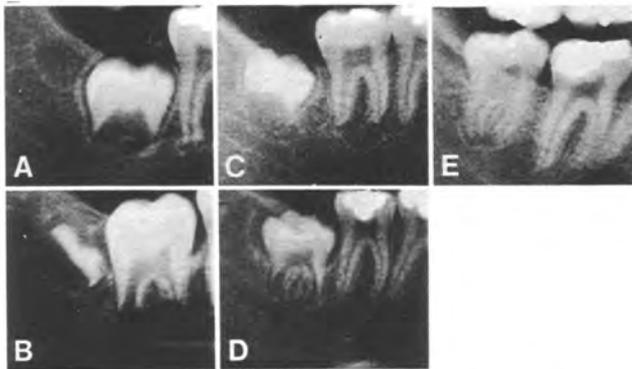


Fig. 1 Developmental stages of the lower third molar.

- A Stage 1 Tooth germ visible as a rounded radiolucency
- B Stage 2 Cusp mineralization complete
- C Stage 3 Crown formation complete
- D Stage 4 Root half formed
- E Stage 5 Root formation complete, but apex not closed

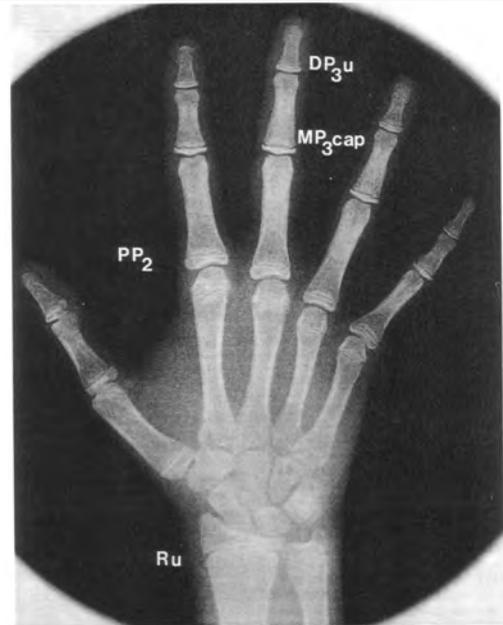


Fig. 2 Radiograph of a hand, showing the ossification centers used for classification of skeletal development.

Pour ces auteurs, les enfants suédois de cet échantillon montrent un développement squelettique normal et l'âge dentaire est bien corrélé aux âges osseux et chronologiques. Cette étude appelle néanmoins la **remarque** suivante : au vu de l'importante variabilité de la dent de sagesse, tant dans sa potentielle absence (taux d'agénésie de 11% dans cette étude) que dans sa variabilité intrinsèque de maturation (stade potentiellement différent pour le même âge civil), il serait bon de quantifier cette variabilité et de l'annoncer en cas de procédure d'évaluation de l'âge chronologique (comme en médecine légale par exemple).

ROLAND & FLOC'H ⁽²⁰⁴⁾ dans leur étude comportant 548 enfants français (265 F et 283 M) âgés de 6 à 9 ans, et à l'aide de l'éruption dentaire pour estimer l'âge dentaire (selon la formule de Chateau) et de l'âge osseux (obtenu par la méthode de GP), ont trouvé une forte corrélation* entre l'âge dentaire et l'âge chronologique ($r^*=0,92$) et entre l'âge dentaire et l'âge osseux ($r=0,88$). **Cependant**, la coïncidence entre l'âge osseux (à ± 5 mois), l'âge dentaire et l'âge chronologique ne se retrouvait que pour 32,5% des garçons de l'échantillon et 40,4% des filles! De plus les résultats de cette étude ne sont valables que pour une faible tranche d'âge d'investigation (6-9ans).

HELM ⁽⁹²⁾, lui, n'a pas trouvé d'association forte entre l'âge dentaire (évalué par l'émergence*), l'âge osseux (évalué par TW-RUS) et l'âge chronologique d'un échantillon de 1300 filles et 1400 garçons danois âgés de 7 à 14 ans. Malgré une faible corrélation* entre l'âge dentaire et l'âge chronologique ($r=0,15$) il estime que, comme l'âge dentaire peut s'évaluer avec une marge d'erreur d'environ 1 an par la méthode de l'émergence et que cette marge est du même ordre pour l'évaluation de l'âge osseux par la méthode de scores de maturation TW-RUS, il est possible que l'évaluation de l'âge chronologique montre, dans 5% des cas, une erreur égale ou supérieure à 2 ans. On peut reprocher à cette étude l'utilisation de l'éruption dentaire pour estimer l'âge dentaire sachant que cette méthode perd beaucoup de sa précision dans la tranche d'âge 12-14 ans de cet échantillon.

CAMERIERE & FERRANTE ⁽³²⁾ postulent que la combinaison de marqueurs biologiques dentaires et osseux doivent donner l'âge chronologique. Ils se sont donc basés sur leurs études précédentes d'évaluation de l'âge dentaire ("rapports entre le diamètre interne du canal pulpaire dans la région apicale et de la longueur totale de la dent" + "nombre de dents à apex* fermé" pour les dents permanentes 31 à 37 ET analyse statistique) et de l'âge osseux (somme des aires des 8 os du carpe (Bo) / aire globale du carpe et de l'épiphyse distale radiale et ulnaire (Ca) ET analyse statistique) pour mettre au point une nouvelle formule statistique de régression qui permet une évaluation plus précise de l'âge chronologique avec une erreur standard de l'estimation* de l'âge de 0,73ans. Mais cette dernière étude a été réalisée sur un échantillon de 150 filles et garçons italiens âgés de 5 à 15 ans, elle mérite donc d'être étendue à différentes populations avec de plus grands échantillons (en taille et en âge).

Enfin, BHAT & KAMATH ⁽²³⁾, après analyse statistique par régression linéaire, ont trouvé une bonne corrélation* entre l'âge dentaire (selon l'état de minéralisation des 3^{ème} molaires mandibulaires selon Kullman), l'âge osseux (selon la présence ou non de fusion épiphyso-diaphysaire sur la radiographie de la main d'après Kanghe) et l'âge chronologique (connu par le certificat de naissance) de 346 filles et 389 garçons du sud de l'Inde. Ils concluent que l'âge chronologique (et plus particulièrement la distinction entre plus ou moins que 18 ans d'âge) peut être déterminé d'après la dent de sagesse car cette dent est la seule qui montre encore une maturation entre 14 et 20 ans et aussi car elle est moins sujette à la dénutrition que la maturation squelettique.

7 DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE APPLICABLES AU SUJET VIVANT

Tout d'abord et à titre anecdotique, il sera fait mention ici d'un cas rapporté par THOMAS ET COLL. ⁽²⁴⁷⁾ où, pour une question de droit à une prime d'invalidité, un sujet se voyait réfuter la condition de mineur au moment de l'accident (1974) par une compagnie d'assurance sud-africaine. En effet, le sujet déclarait avoir 24 ans en 1982 et la compagnie d'assurance prétendait qu'il en avait 26. Les moyens d'évaluation à disposition consistaient en : une radiographie de poignet avec fusion épiphysio-diaphysaire qui donnait un *aspect de 20-23 ans* ; une radiographie de crâne en incidence* axiale (de Hirz) montrant une fermeture de la synchondrose sphéno-occipitale + une radiographie de crâne de face en incidence* standard PA avec suture interpariétale ouverte + une radiographie de crâne de profil standard avec sutures lambdoïdes ouvertes, *ces éléments situant le sujet dans sa 2^{ème} décade* ; un cliché OPT avec les dents de sagesse sur les arcades (éruption entre 17 et 20 ans pour le garçon noir africain) et apexifiées (soit environ 3 ans après l'éruption), ce qui confère au sujet un *âge non inférieur à 20 ans mais possiblement égal ou supérieur à 23 ans* ; un examen dentaire clinique reportant une seule carie (sur la 27) et très peu d'attrition* occlusale chez un patient à diète pourtant rustique *laissant supposer un âge peu avancé*. La conclusion du médecin légiste fut : l'âge déclaré de 24 ans est plausible. Ce cas démontre toute la difficulté d'établir un âge précis chez le sujet adulte vivant, avec les outils à disposition!

Plusieurs techniques permettant l'évaluation de l'âge osseux et/ou de l'âge dentaire sont théoriquement utilisables chez l'être humain vivant telles que précédemment décrites (voir les rubriques "Limite(s), domaine d'application ou remarque(s)" dans les sous-sections des chapitres 4 et 5). Bien entendu toute technique impliquant un geste invasif, comme par exemple l'extraction d'une dent ou une biopsie osseuse, sur l'être humain vivant est généralement bannie. De plus, et sous certaines législations (allemande en particulier) l'application de techniques utilisant des rayonnements ionisants, tels que la radiographie ou la TDM nécessitant des rayons X, n'est autorisée que sur mandat judiciaire qui permet d'outrepasser, dans ces conditions la législation sur la radioprotection.

Pour rappel, ces méthodes sont, pour l'âge osseux :

- **LES MÉTHODES QUANTITATIVES**
 - a) scintigraphie / non applicable, trop irradiante;
 - b) taux de minéralisation / non applicable, inconsistance des résultats;
 - c) régression trabéculaire du fémur / non applicable, trop imprécise;
 - d) **mesure de longueurs corps & membres** / peu précise (4-19 ans);
 - e) **mesure de longueur métacarpophalangienne** / pour Suédois entre 1 mois et 18 ans uniquement;
 - f) **rapport de longueurs des os de la main** / résultats=GP, âges évalués selon l'étude : 2 à 20 ans, naissance à 18 ans, 6,5 à 14,5 ans;
 - g) **rapport de longueurs des vertèbres cervicales** / résultats=TW2 mais pour filles japonaises entre 7 et 15 ans donc à confirmer;
 - h) **calcul de surface au poignet** /résultats=GP, âges évalués de 2 à 17ans;
 - i) variation de l'angle sphénoïdal / pas utilisable en l'état (sauf si utilisation Rx crâne ou TDM, mais alors étude mérite confirmation);
 - j) taille du sinus frontal / pas utilisable en l'état (inconsistant);
 - k) **épaisseur diploé & volume crânien** / par IRM, sous réserve de confirmation des études, âges évalués allant de ~20 à 80 ans ;
- **LES MÉTHODES QUALITATIVES (MATURATION*, CHANGEMENTS RÉGRESSIFS*)**
 - > **changements régressifs des os de la main** / de 30 à 90 ans
 - > changements régressifs des côtes / non applicable (16 à 70 ans) à moins que étude en IRM ou TDM
 - > **maturation tête fémorale** / US, de 2 à 14 ans
 - > **maturation crête iliaque** / 10 à 18 ans
 - > **maturation clavicule** / 11 à 26 ans
 - > maturation vertèbres cervicales / évalue croissance résiduelle
 - > maturation sutures crâne / dès 20 ans, trop imprécis
 - > **maturation épiphyse distales poignet/cheville** / 14 à 20 ans
 - > **maturation os du coude** / 10 à 15 ans
 - > maturation sésamoïde du pouce / inconsistant
 - > maturation du carpe et métacarpes / moins précis que TW
 - > **maturation poignet/main (Björk)** / 8 à 18 ans
 - > maturation poignet/main (Fishman) / non applicable, situe pic croissance
 - > **maturation poignet/main (Schmidt&coll.)** / seulement 18 ans
 - > **maturation poignet/main atlas GP** /F: 6mois-18 ans, M: 6 mois -19 ans
 - > **maturation poignet/main scores TW** / F: 8 à 16 ans, M: 8 à 18 ans;

- > maturation poignet/main scores Fels / comme TW;
- **autre méthode** : US et vitesse de transmission / inconsistant

et pour l'âge dentaire :

- **l'examen clinique évaluant l'éruption dentaire** / valable uniquement de la petite enfance (6 mois-1 an) à la fin de l'adolescence (environ 17 ans) c'est à dire pendant la période d'éruption normale de la denture déciduale* et de la denture permanente, 3^{ème} molaires comprises;
- **l'examen clinique évaluant l'attrition* occlusale** / changements régressifs* essentiellement dès l'enfance (premières molaires permanentes déjà en bouche dès environ 6 ans) et surtout pour l'âge adulte;
- **l'examen radiologique évaluant la maturation* dentaire par stades** de calcification des dents permanentes, dents de sagesse éventuellement comprises / valable pendant la période de croissance de l'enfance à l'âge de jeune adulte (20-23 ans);
- **l'examen radiologique évaluant l'apposition de dentine secondaire** (diminution de taille résiduelle de la cavité pulpaire) des dents permanentes, dents de sagesse éventuellement comprises / changements régressifs dès l'enfance et valables durant toute la vie.

Pour ce chapitre les méthodes les plus fréquemment citées dans la littérature seront exposées, tout en sachant que celles-ci sont plus ou moins connues du grand public. En effet, ce dernier est averti que l'âge osseux n'est pas forcément exactement concordant à l'âge chronologique (car, comme cela a été précédemment expliqué, l'âge osseux reflète le degré de maturation de l'os - qui peut être avancé ou retardé). Les instances juridiques qui l'utilisent comme seul examen pour évaluer l'âge d'un sujet vivant se voient, à cause de la marge d'erreur unanimement reconnue de 2½ à 3 ans ⁽²⁷⁾, au mieux réviser leur jugement ⁽⁷⁾ ou au pire incarcérer des mineurs à tort ⁽⁸¹⁾. En conséquence, l'idéal est bien de faire appel à plusieurs méthodes d'évaluation de l'âge et le minimum est de vérifier la concordance entre l'âge osseux et l'âge dentaire comme ce qui est généralement demandé par les juges genevois ⁽²⁶¹⁾, mais cela semble toutefois peu satisfaisant, surtout si les seuls outils sont la radiographie de poignet et l'OPT. A ce propos GARAMENDI ET COLL. ⁽⁷⁴⁾ ont vérifié le degré de confiance que l'on peut attendre de la classification en mineur/majeur avec limite de 18 ans au moyen de

l'évaluation de l'âge osseux par la méthode de l'atlas GP et de l'âge dentaire par les stades de maturation de Demirjian appliqués aux dents de sagesse dans une étude rétrospective publiée en 2004 et portant sur 80 immigrés illégaux marocains (sur 114) dont l'âge a pu être transmis après évaluation initiale (mais qui avait alors aussi compris les autres critères d'évaluation préconisés par le Study Group for Forensic Age Estimation, voir plus loin) par l'ambassade du Maroc.

Ils trouvent que l'association des méthodes GP & Demirjian pour les DDS réduit drastiquement le risque d'erreur éthique* de classification (évaluer l'âge d'un sujet comme étant majeur alors que ce dernier a réellement moins de 18 ans) au détriment d'une augmentation du nombre d'erreurs technique de classification (estimer qu'un sujet est mineur alors qu'en réalité il a plus de 18 ans), situation qui est humainement plus acceptable. En effet, dans leur série sur 80 testés, un seul s'est révélé être classifié par erreur au dessus de 18 ans alors que la date de naissance fournie par l'ambassade lui conférait le statut de mineur ... cependant après discussion avec la famille de ce sujet, les auteurs ont pu apprendre qu'il s'agissait d'une fausse date de naissance et que le sujet était donc probablement réellement majeur.

NUZZOLESE & DI VELLA ⁽¹⁷³⁾ exposent dans leur article les moyens utilisés en Italie pour déterminer l'état de mineur ou de majeur des immigrants illégaux :

1. un examen physique où sont notés le poids, la taille, les caractères sexuels secondaires, l'état général et l'état de la peau;
2. un examen clinique bucco-dentaire évaluant l'état de la muqueuse et des dents ainsi que le type de denture;
3. une radiographie de la main non dominante (âge osseux selon GP + Fels);
4. une radiographie de bassin, si les premiers examens cliniques laissent supposer que le sujet est majeur (âge osseux selon maturation de la crête iliaque);
5. un OPT (âge dentaire selon l'éruption, selon l'état de maturation radiculaire de la dent de sagesse d'après Harris & Nortjè (établi pour les noirs sud-africains) + Kullman (établi sur des suédois), aussi selon Moorrees).

Ils rapportent que trois experts* s'occupent de l'évaluation : un médecin légiste (examen physique et synthèse du cas), un radiologue (âge osseux sur les radiographies du poignet et du bassin), un dentiste spécialiste de l'odontologie légale (âge dentaire d'après l'examen clinique et l'analyse de l'OPT). Il soulèvent néanmoins le fait que malgré tous les moyens et experts mis à disposition, il est

difficile d'obtenir une précision de l'âge avec une marge d'erreur inférieure à 3 ans et que, en cas de doute, celui-ci doit, pour des raisons éthiques*, profiter à l'accusé.

Enfin, SCHMELING ET COLL. s'intéressent à ce sujet passionnant qu'est l'évaluation de l'âge chez le sujet vivant, depuis de nombreuses années (voir plus haut dans les différentes techniques chapitre 4 et 5 et aussi la bibliographie). Seuls seront reportés ci-dessous les éléments intéressants de leur différents travaux de synthèse ^(182, 212, 213, 214). Ainsi, en 2001 ⁽²¹²⁾, 2003 ⁽²¹³⁾ et 2006 ^(182, 214) ils rapportent les recommandations du "Study Group for Forensic Age Estimation" basées initialement sur une évaluation des pratiques des médecins légistes de ce groupe (Tab. 22) comportant à ce stade 50 membres provenant d'Allemagne, d'Autriche, de Norvège et de Suisse. En résumé, les procédures utilisées pour l'expertise sont : 1. l'examen clinique physique avec mesures anthropométriques, évaluation de la maturation squelettique et prise en compte de toute maladie affectant la croissance; 2. une radiographie de la main gauche; 3. un examen dentaire clinique et radiologique; 4. un examen supplémentaire radiologique ou TDM des clavicules pour déterminer si le sujet est âgé de plus de 21 ans.

Tableau 22 Evaluation des pratiques des membres du "Study Group for Forensic Age Estimation" ⁽²¹²⁾

Methods used for age estimations in criminal proceedings in the German-speaking countries*	
Type of examination	Number of experts
Physical	
Body measures	15
Signs of sexual maturation	16
Radiographic (without dentition)	
Hand	22
Shoulder/upper arm	5
Collar bone	3
Pelvis	2
Femur	1
Knee	1
Foot	1
Shoulder blade	1
Breast bone	1
Paranasal sinuses	1
Dental	
Dental status	19
Orthopantomogram/dental film	17
Plaster cast	5
Other	
Cross-section of hair	1

*by a total of 24 experts; multiple answers possible

Il est intéressant de noter que 2 ans plus tard le "Study Group for Forensic Age Estimation" s'est élargi à 66 membres et 2 nations nouvelles (Belgique et Espagne).

Dans leur synthèse de 2006 ^(182, 214) ces auteurs expliquent qu'il incombe à un expert* (par exemple le médecin légiste) de collecter les résultats obtenus par les autres personnes impliquées dans l'évaluation (par exemple le médecin légiste ou un médecin généraliste, interniste ou pédiatre pour l'examen physique; l'odontologiste légiste pour l'examen clinique et radiologique dentaire; le radiologue pour l'âge osseux) qui auront dû préalablement expliciter les différentes techniques (avec mention des articles de références) qu'ils utilisent pour chaque modalité. De plus les auteurs soulignent l'importance de la réalisation de l'examen physique préalablement aux autres modalités en ce sens qu'il permet :

- a) de déceler une maladie, une dénutrition (à l'aide de l'index de masse corporelle selon ⁽⁷⁴⁾), l'exercice d'un sport de compétition dans le jeune âge ⁽⁷⁴⁾ ou de mettre en évidence un niveau de vie peu élevé (ainsi que l'origine ethnique), facteurs qui peuvent retarder la croissance (ce qui en soit ne nuit pas généralement à la personne soupçonnée d'un délit);
- b) de relever une avance de la croissance (rare) généralement due à un trouble endocrinien (gigantisme, acromégalie, puberté précoce, syndrome androgénital, hyperthyroïdisme) et qui généralement ne se retrouve pas au niveau dentaire;
- c) d'affirmer une maturité sexuelle complète vers 16 ans chez la fille et 17 ans chez le garçon européen (il existe des variations selon l'origine ethnique, cette mesure est donc peu fiable).

Pour terminer on peut retenir que :

- la maturité squelettique complète a lieu vers 17 ans pour la fille et 18 ans pour le garçon quelle que soit de l'origine ethnique (sur les radiographies de la main);
- la fusion épiphysaire sternale claviculaire complète avec visibilité de la ligne de fusion signe un âge osseux de 20 ans pour la fille et 21 ans pour le garçon et la disparition de la ligne de fusion a lieu dès 26 ans pour les 2 sexes (sur examen TDM);
- la maturation complète des dents de sagesse est atteinte vers 20-21 ans avec une maturation légèrement plus précoce chez le sujet noir africain et

légèrement retardée chez le sujet asiatique (l'europpéen se situant entre les deux).

Enfin pour une partie plus descriptive de la procédure globale d'évaluation selon le "Study Group for Forensic Age Estimation" on notera les éléments suivants :	
Examen physique	<p>- Stature*, poids, morphotype</p> <p>- Maturité sexuelle</p> <p>F : pilosité axillaire (A1-A3), pubienne (P1-P5)</p> <p>Développement de la glande mammaire (B1-B5) d'après Tanner (selon ⁽⁷⁴⁾) + forme des hanches + horizontalisation de la vulve, développement des grandes lèvres, petites lèvres et clitoris + première règle (jamais avant l'accélération du pic de croissance* = 10 ans pour ⁽¹¹²⁾) à la puberté ⁽⁷⁰⁾ (13a2m d'après Béry cité par Charlet ⁽⁴⁴⁾ pour ce dernier, dosage des 17-cétostéroïde dans l'urine).</p> <p>M : pilosité axillaire, pubienne et faciale, proéminence laryngée et mue vocale(début pendant le pic de croissance donc vers 11 ans pour ⁽¹¹²⁾), croissance génitale (G1-G5), volume testiculaire (orchidomètre de Prader)⁽⁷⁴⁾ et plissement-pigmentation du scrotum ⁽⁷⁰⁾, longueur du pénis flacide ⁽⁷⁴⁾, premières éjaculations ⁽⁷⁰⁾ et dosage des 17-cétostéroïde dans l'urine ⁽⁴⁴⁾</p>
Radiographie de la main gauche	- maturation osseuse d'abord évaluée sur la forme et la taille des os et sur le degré d'ossification épiphysaire puis âge osseux selon la méthode de l'atlas de GP 1959 ou de sa mise à jour allemande Thiemam & Mitze 1991 ou encore par la méthode des scores TW (1975, 2001)
TDM extrémité sternale claviculaire	- en cas de fusion complète âge égal ou supérieur à 22 ans (Kreibner 1997, 1998)
Examen clinique bucco-dentaire	-éruption terminée de toutes les dents permanentes sauf dents de sagesse vers 12 ans et éruption des 3 ^{ème} molaires en 5 ans pour les caucasoïdes vers 17 ans et en 2-4 ans supplémentaire le plan d'occlusion est atteint
Examen radiologique dentaire OPT	- minéralisation selon Demirjian avec minéralisation complète des 2 ^{ème} molaires vers 16 ans et des 3 ^{ème} molaires vers 21-23 ans + encore 3 ans pour les dents incluses

8 DES LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE

Avant même d'entrer dans le détail des éléments spécifiques pouvant biaiser l'évaluation de l'âge osseux ou dentaire, il serait bon de rappeler, comme le soulignent très justement plusieurs auteurs ^(4, 50), que presque toutes les études citées dans le présent travail, tout comme l'immense majorité des articles que l'on peut retrouver dans la littérature, se basent sur des sujets généralement correctement nourris et exempts de toute pathologie aiguë/chronique ou de médication qui pourrait altérer la formation de tissus osseux/dentaires. En cela, la validité d'une estimation* d'âge peut être réduite si le sujet investigué présente une dénutrition ou bien une pathologie touchant l'os par exemple (directement ou non comme dans la drépanocytose, la thalassémie). A nouveau, SCHMIDT ET COLL. ⁽²¹⁸⁾ remarquent que dans ce genre de situation l'estimation de l'âge du sujet lui donnera un âge inférieur à l'âge réel ce qui ne le désavantage pas d'un point de vue légal (pénal).

8.1 À PROPOS DE L'ÂGE OSSEUX

Par rapport aux méthodes d'évaluation de l'âge exposées plus haut, on peut relever différents domaines limitant soit leur précision, soit leur champ d'application, soit les deux. Il est cependant possible de regrouper ces facteurs limitants en : facteurs relatifs à l'os lui-même, facteurs relatifs à la technique d'évaluation et facteurs relatifs à la méthodologie statistique employée.

8.1.1 Facteurs influençant l'os

Parmi ces facteurs, ceux qui ressortent le plus souvent dans la littérature sont : génétiques, socio-économiques, séculaires*, relatifs à la croissance et à l'état de dégénérescence.

8.1.1.1 Facteur génétique

Pour de nombreux auteurs cet élément est prépondérant ^(9, 21, 98, 185, 256, 274). Parmi ceux ayant utilisé la méthode TW2-RUS ^(9, 21, 274), BEUNEN ET COLL. ⁽²¹⁾ (1990) trouvent, dans un large échantillon de la population belge (près de 9'700 filles entre 6 et 19 ans et 21'000 garçons entre 12 et 20 ans) une différence du temps de maturation* par rapport à la population britannique de référence qu'ils

attribuent, sans le prouver, à la variation biologique entre les populations (variation indifféremment nommée ethnique ou génétique selon les auteurs). ZHEN & BAOLIN⁽²⁷⁴⁾, avec la même méthode trouvent aussi une avance des enfants chinois (270 filles et 302 garçons entre 7 et 15 ans) de 6 à 12 mois vers l'âge de 10 ans, et ils reportent des résultats similaires pour des enfants japonais et indiens d'autres études et évoquent un facteur ethnique pour cette différence. A ce stade, on peut douter d'une telle cause de cette différence si des populations si hétérogènes que (caucasioïde* et asiatique) montrent une même tendance à une maturation précoce dans la période prépubertaire par rapport à la population caucasioïde* de référence! Cependant, ASHIZAWA ET COLL.⁽⁹⁾ montrent non seulement une avance des scores RUS des enfants japonais (704 filles, 753 garçons vivant à Tokyo âgés entre 3 et 18 ans) plus rapide avant la puberté, mais aussi après et avec une maturation complète plus rapide (de environ 1-2 ans) par comparaison aux enfants européens et chinois d'autres études comparables^(21, 271) et concluent à une différence génétique (par rapport aux européens) et socio-économique et nutritionnelle (par rapport aux chinois). IŞCAN ET COLL.⁽⁹⁸⁾, qui eux évaluent l'âge osseux sur des aspects à la fois de maturation et dégénératifs de l'extrémité sternale de la 4^{ème} côte, trouvent aussi des différences entre individus d'origine ethnique différente telles qu'une entrée dans la 1^{ère} phase plus précoce chez l'afro-américain que chez l'américain caucasioïde* et, à partir de 30 ans une surestimation de 3 à 10 ans de l'âge pour ces premiers. Ces auteurs font appel à un facteur ethnique pour expliquer ces différences et citent d'autres études démontrant une maturation osseuse plus rapide avec une structure osseuse plus dense chez les noirs. Cependant IŞCAN ET COLL. ne peuvent exclure l'impact socio-économique (et donc le type d'alimentation et le degré d'activité physique) sur la maturation et le vieillissement osseux sachant que plus de 50% des sujets de leur échantillon d'afro-américains possédaient une activité professionnelle manuelle par rapport aux américains caucasioïdes de leur étude.

D'un autre côté, VIGNOLO ET COLL.⁽²⁵⁶⁾, en testant les méthodes GP (légèrement modifiées : assignation d'un âge osseux séparément pour radius & ulna, métacarpes & phalanges, os du carpe suivi d'une sommation pondérée de ces trois régions selon : $\text{âge} = 0,4 \cdot (\text{radius \& ulna}) + 0,4 \cdot (\text{métacarpes \& phalanges}) + 0,2 \cdot (\text{carpe})$), TW2-RUS UK60 et Roche-Wainer-Thissen (RWT, évalue le genou) n'ont trouvé que peu de différences (légère sous ou surestimation de quelques mois) d'âge entre les enfants et adolescents italiens d'avec ceux de référence

pour les méthodes utilisées dans leur étude. En plus, VAN RIJN ET COLL. ⁽²⁵²⁾ confirment que les standards de la méthode GP sont toujours valides pour la population d'enfants-adolescents hollandais caucasoïdes de la fin des années 1990 dans leur étude de début 2000.

Enfin, toujours dans les années 2000, SCHMELING ET COLL. ⁽²¹⁵⁾ en effectuant une revue de la littérature concernant un possible effet ethnique sur la maturation osseuse, ont retenu 80 articles et leur conclusion est sans appel. La composante ethnique ne joue aucun rôle sur la maturation osseuse, évaluée selon GP, car cette dernière montre un déroulement identique quelle que soit l'origine du sujet. De plus, les différences généralement notées sont temporelles et du ressort du développement socio-économique (état nutritionnel, de santé, ...) de la population étudiée. En conséquence pour ces auteurs il n'y a pas de contre-indication à l'utilisation de la méthode GP en médecine légale pour évaluer l'âge osseux d'un sujet quelle que soit son origine ethnique.

8.1.1.2 Facteurs socio-économiques

RIKHASOR ET COLL. ⁽²⁰⁰⁾, sur 750 enfants pakistanais ont relevé un âge osseux concordant à celui des standards de GP pendant la 1^{ère} année de vie et les 2 premières années de vie respectivement chez les garçons et les filles, suivi d'un retard dans les deux sexes jusqu'à la puberté (15 et 13 ans respectivement). Ces auteurs attribuent ce retard à l'incidence élevée de maladies et à la malnutrition chez les enfants pakistanais par rapport aux occidentaux. Après la puberté, les adolescents pakistanais montrent une maturation plus rapide avec fusion épiphyso-diaphysaire complète vers 16 ans chez la fille et 18 ans chez le garçon. La tendance au retard de maturation chez les enfants pakistanais avant la puberté a été confirmée par SHAIKH ET COLL. ⁽²²⁴⁾. Pourtant, WENZEL & MELSEN ⁽²⁶⁰⁾ n'ont pas trouvé de différence d'âge osseux estimé par la méthode TW2 parmi les enfants et adolescents (âgés de 6 à 16 ans) provenant de tous les milieux socio-économique de leur étude de 1'100 ... danois!

Encore une fois, SCHMELING ET COLL. ⁽²¹⁵⁾ relèvent qu'il est tout à fait possible en médecine légale d'utiliser l'estimation de l'âge osseux selon GP (ou TW) pour un sujet qui proviendrait d'un milieu socio-économique moins élevé que ceux de l'étude de référence car cela induit une erreur (sous-estimation de l'âge, le prévenu se voit assigner un âge plus jeune que réel) qui pénalement ne le prétérite pas.

8.1.1.3 Facteur séculaire*

Presque tous les auteurs font mention de ce facteur, mais très peu l'ont étudié. Par exemple, LODER ET COLL. ⁽¹³⁸⁾ ont voulu vérifier l'applicabilité de la méthode GP basée sur un échantillon de sujets caucasoïdes des années 1940 avec leur échantillon provenant de la même région des USA mais des années 1980-90 (et comprenant aussi des afro-américains). Pour ce qui concerne les enfants caucasoïdes, leur conclusion n'est pas univoque : pas de différence d'âge estimé pour les filles caucasoïdes et, d'abord sous-estimation de 0,4 an de l'âge pendant l'enfance puis surévaluation de 0,5 an de l'âge pendant l'adolescence chez le garçon caucasoïde*.

8.1.1.4 Facteurs relatifs à la croissance

Initialement, la croissance osseuse est régulée génétiquement et suit un schéma bien déterminé ⁽²⁴⁴⁾. Cependant, AICARDI ET COLL. ⁽¹⁾ ont montré, dans leur étude comparative de 6 méthodes d'évaluation de l'âge osseux (GP, TW-20, TW-RUS, FELS, FELS + RWT, RWT, cette dernière étant la mieux corrélée à l'âge chronologique, les autres étant mieux corrélées à l'index de masse corporelle et à la stature*), qu'il existe une variabilité intra-individuelle de la maturation en fonction du site investigué.

On le sait, l'os est tributaire d'une régulation hormonale pendant la croissance et les hormones impliquées sont : l'hormone de croissance (GH), le facteur de croissance somatomédine C (ou Insuline Growth Factor 1 : IGF1) et aussi la testostérone chez le garçon. En cas d'insuffisance gonadique chez l'adolescent, un retard pubertaire apparaît (alors que le pic pubertaire est attendu vers 14 ans) avec comme conséquence un âge osseux inférieur à l'âge chronologique ⁽²⁹⁾. Au contraire, une hypersécrétion d'androgène est responsable d'avance staturale* chez l'enfant ⁽¹⁹⁷⁾. Moins évidents sont les facteurs influençant la sensibilité hormonale du sujet, par exemple à l'hormone de croissance, tels que l'ont soulevé KATZ ET COLL. ⁽¹⁰²⁾. Ces derniers notent un âge avancé d'environ 5 mois par rapport à leur âge chronologique chez des adolescents des deux sexes (selon GP) atteints de schizophrénie (non traitée). Ou encore la pratique intensive (plus de 18h/semaine) d'un sport pendant la période pubertaire comme l'ont démontré THEINTZ ET COLL. ⁽²⁴⁴⁾ chez des filles exerçant la gymnastique avec réduction de la taille (à 16 ans et par rapport à la taille attendue sur la base de celle des parents) avec une réduction significative de la longueur des jambes. Ici aussi ces auteurs

suggèrent un effet hormonal, par baisse de stéroïdes sexuels liée au retard des premières règles (retard aussi dû au sous-régime que s'imposent les athlètes de ce sport) et au stress psychologique, tous facteurs réduisant la production de GH. Mais en plus il supposent que la sollicitation mécanique excessive des articulations pourrait provoquer un processus de réparation se traduisant par une fusion prématurée épiphysaire, surtout au niveau des jambes.

8.1.1.5 Facteurs relatifs à l'état (\pm dégénératif) de l'os mature

BELKIN ET COLL. ⁽¹⁷⁾ en reprenant les données de l'étude d'involution osseuse de KOBLIANSKY ET COLL. ⁽¹⁰⁶⁾ (Tab. 23) et en y rajoutant les facteurs climatiques des populations concernées durant le temps de l'étude (Tab. 24) ont pu montrer une corrélation* entre les 1^{er} signes de vieillissement et le taux de vieillissement des os de la main et l'humidité et la température (ainsi qu'avec un indice bioclimatique de sévérité du climat).

Tableau 23 Données de BELKIN ET COLL. ⁽¹⁷⁾

<i>APPENDIX A. Stochastic model parameter estimates age-dependent bone changes in male populations (according to Kobylansky et al., 1995)</i>								
Group, geographic location ¹	Sample size	t_0^2	q^2	b^2	T_m^2	RBA ²	RRBA ²	Age
Abkhazians 1	340	25.0	0.049	0.469	45.6	20.7	45.295	18-99
Abkhazians 2	233	28.0	0.063	0.526	43.8	15.8	36.073	18-95
Azerbaijanians	131	26.0	0.087	0.512	37.4	11.4	30.481	19-88
Beduins	166	17.0	0.087	0.379	28.4	11.4	40.141	16-70
Buryats	125	27.0	0.118	0.667	35.5	8.5	23.944	20-56
Byelorusi	76	29.0	0.081	0.582	41.3	12.9	30.788	22-80
Chukchi	73	26.0	0.086	0.566	37.6	11.3	30.295	19-60
Eskimos	48	28.0	0.161	1.000	34.2	6.2	18.129	17-61
Georgians	97	34.9	0.152	0.461	41.5	6.6	15.904	16-99
Indians	191	19.2	0.094	0.474	29.9	10.7	35.786	19-62
Jews	39	29.0	1.000	0.522	30.0	11.0	35.484	18-87
Karakalpaks	121	36.0	0.138	0.412	43.3	5.6	12.933	19-70
Karyki	52	33.0	0.161	0.466	39.2	6.2	15.816	18-62
Kazakhis	115	24.0	0.079	0.429	36.7	16.7	41.032	19-60
Lituanian	203	19.0	0.129	0.436	26.8	7.8	29.104	19-68
Mongols	99	26.0	0.107	0.321	35.4	9.4	26.554	23-78
Nents	74	25.0	0.107	0.650	34.3	9.3	27.114	17-78
Russian 1	269	26.0	0.149	0.523	32.7	6.6	20.245	19-60
Russian 2	209	22.0	0.100	0.571	32.0	10.1	31.464	17-85
Russian 3	85	23.9	0.223	0.396	28.4	4.5	15.845	22-83
Russian 4	60	22.9	0.123	0.839	31.0	9.2	29.114	22-60
Russian 5	117	23.0	0.388	0.456	25.6	2.6	10.156	21-90
Russian 6	34	22.0	0.070	0.476	36.2	15.0	40.541	22-84
Russian 7	79	27.0	1.000	0.484	28.0	1.0	3.571	20-79
Russian 8	78	23.0	1.000	0.437	24.0	1.0	4.167	18-63
Tajiks 1	108	27.0	0.166	0.367	33.0	6.0	18.182	19-57
Tajiks 2	56	28.5	0.099	0.694	38.6	10.2	26.357	20-78
Teke Turkmen	93	22.0	0.061	0.595	38.5	20.4	48.113	19-60
Yomut Turkmen	82	26.0	0.087	0.999	37.5	11.5	30.667	20-50
Tuvinci	177	21.0	0.129	0.601	28.8	7.8	27.083	19-71
Saamy	25	29.0	0.070	0.352	43.3	13.9	32.401	19-58

¹ Abkhazians 1 (Chlou, Jgerda, Atara); Abkhazians 2 (Kaldakhvar, Aatsy); Beduyins (Gebelly, Aulad/said); Byelorusi (Veremeiki); Karakalpaks (Karuzyak); Kazakhis (Akkol); Russian 1 (Argoda, Burguzin, Chitkan, Kurumkan Uro); Russian 2 (Azerbaijan); Russian 3 (Klaipeda, Palanga) Russian 4 (Kursk); Russian 5 (Peski); Russian 6 (Puttytino); Russian 7 (Voshod); Russian 8 (Ukhta); Tajiks 1 (Chorku); Tajiks 2 (Unji); Yomut Turkmen (Kulmach, Uzun-Su); Tuvinci (Chadan, Erzin, Toora-Jem).

² t_0 /earliest age at which first signs of bone aging can be found; q /individual probability of revealing first signs of involutive bone changes assuming $t_1 > t_0$; b /regression coefficient characterizing the rate of bone changes per chronological time unit; T_m /population \approx mean age when the first visible bone changes occur; RRBA/relative rate of bone aging = $(T_m - t_0)/T_m$.

Tableau 24 Données de BELKIN ET COLL. ⁽¹⁷⁾

APPENDIX B. Climatic characteristics of the studies samples (according to Livshits et al., 1996)													APPENDIX C. Climatic characteristics and bioclimatic indices of the studied samples not used in the previous study									
Group, geographic location ¹	Latitude	Longitude	TMPJL	TMPJL	PRSJL	PRSJL	DIRJL	DIRJL	WNDJL	WNDJL	PRCPT	ALTTD	Group, geographic location ¹	DAYJN ²	DAYJL ²	BISCRJN ²	BISCRJL ²	DIFBISCR ²	VPJN ²	VPJL ²		
Abkhazians 1	43	41	+6	+22	1018	1008	W	ENE	2	2	1000	500	Abkhazians 1	10.25	15.75	6.138	6.695	0.557	0.3	16.4		
Abkhazians 2	43	41	+6	+22	1018	1008	W	ENE	2	2	1000	500	Abkhazians 2	10.25	15.75	4.304	4.977	0.674	0.3	16.4		
Azerbaijanians	41	45	+8	+22	1022	1010	W	W	2	2	1000	1000	Azerbaijanians	10.75	16.00	5.230	5.900	0.670	0.3	16.4		
Beduits	29	34	+12	+30	1018	998	ENE	NE	2	3	50	500	Beduits	11.25	14.75	6.732	6.065	0.667	13.0	24.3		
Buryats	54	110	-20	+16	1034	1006	WSW	E	3	3	250	400	Buryats	9.00	18.00	5.076	7.979	2.903	0.8	18.3		
Byeloruss	54	31	-8	+18	1018	1010	N	E	1	1	600	200	Byeloruss	9.00	18.00	7.393	9.932	2.540	2.6	13.7		
Chukchi	67	170.0W	-16	+6	1014	1012	S	W	4	2	500	200	Chukchi	6.50	22.00	6.364	8.506	2.142	0.9	7.8		
Eskimos	66	172.0W	-16	+6	1014	1012	S	W	4	2	500	200	Eskimos	6.50	22.00	5.954	8.506	2.552	0.9	7.8		
Georgians	42	43	-2	+22	1022	1008	W	ENE	2	2	800	500	Georgians	10.75	16.00	7.026	8.295	1.270	0.3	16.4		
Indians	29	78	+12	+36	1018	1008	WSW	NE	2	4	500	500	Indians	11.25	14.50	8.238	6.908	1.330	10.3	30.3		
Jews	32	35	+12	+28	1018	1006	ENE	ESS	2	2	100	200	Jews	11.00	14.75	7.877	7.685	0.191	10.3	23.1		
Karakalpak	43	60	-6	+26	1022	1010	WSW	SE	2	2	75	100	Karakalpak	10.25	15.75	7.589	8.489	0.900	5.0	13.2		
Kazakhs	43	71	-10	+26	1030	1002	WSW	SSW	3	2	100	500	Karyk	8.50	20.75	5.500	8.668	3.169	1.6	14.2		
Lithuanian	55	23	-6	+18	1016	1012	NNE	ENE	1	2	500	100	Kazakhs	10.25	15.75	5.740	7.163	1.423	1.6	11.7		
Mongols	56	38	-10	+18	1020	1010	NNE	ESE	2	1	500	200	Lithuanian	8.75	18.00	7.175	9.484	2.309	2.6	14.5		
Nerits	65	78	-26	+10	1018	1010	NNE	SE	2	1	500	200	Mongols	9.75	16.50	4.273	6.316	2.043	5.2	15.0		
Russian 1	54	110	-20	+16	1034	1006	WSW	E	3	2	250	400	Nerits	6.50	22.00	6.620	9.388	2.768	0.6	13.2		
Russian 2	41	48	-8	+22	1022	1011	W	NW	2	3	1000	500	Russian 1	9.00	19.00	4.421	6.445	2.024	1.6	14.2		
Russian 3	55	23	-6	+18	1016	1012	NNE	NNE	1	2	500	100	Russian 2	10.75	15.75	6.371	7.459	1.088	4.0	19.0		
Russian 4	51	36	-10	+18	1020	1010	NNE	E-SE	2	4	500	200	Russian 3	9.00	19.00	7.157	9.193	2.037	2.6	14.5		
Russian 5	51	43	-10	+18	1020	1010	NNE	E-SE	2	4	500	200	Russian 4	9.75	17.25	7.291	9.397	2.007	2.4	19.0		
Russian 6	53	40	-10	+18	1020	1010	NNE	E-SE	2	4	500	200	Russian 5	9.75	17.00	7.346	9.690	2.344	3.2	15.2		
Russian 7	45	34	0	+22	1018	1010	W	SSE	2	1	500	200	Russian 6	10.00	17.00	6.584	8.766	2.182	5.4	24.0		
Russian 8	64	54	-16	+10	1016	1010	NNE	SE	2	1	500	200	Russian 7	10.00	16.50	8.177	9.432	1.254	5.4	14.8		
Tajiks 1	40	71	-12	+22	1026	1006	WNW	SE	2	3	300	1000	Russian 8	6.50	21.50	6.166	8.981	2.815	1.2	13.2		
Tajiks 2	40	70	-4	+26	1026	1006	WNW	SE	2	3	300	500	Tajiks 1	10.75	15.75	4.686	5.367	0.681	4.7	13.0		
Teke Turkmen	38	57	0	+28	1022	1010	WSW	SE	3	3	150	300	Tajiks 2	10.75	15.75	5.897	6.496	0.600	5.0	13.2		
Yomut Turkmen	39	56	0	+28	1022	1010	WSW	SE	3	3	150	300	Teke Turkmen	11.00	15.25	6.741	6.663	0.079	5.9	16.9		
Turvinci	51	94	-24	+12	1038	1006	NW	S	2	2	250	1000	Yomut Turkmen	10.75	15.25	6.372	6.677	0.305	3.0	15.5		
Saamy	68	35	-12	+10	1010	1010	NE	SSW	3	3	400	300	Turvinci	9.75	17.75	3.760	6.103	2.342	0.8	18.3		
													Saamy	6.00	23.50	5.856	7.961	2.104	1.5	9.6		

¹ For each geographic location of sampled groups see Appendix 1. For abbreviations of climatic factors, see Materials and Methods.

² For each geographic location of sampled groups, see Appendix 1. DAYJN²: Daylight duration (hours) in January; DAYJL²: Daylight duration (hours) in July; VPJN²: monthly mean humidity (partial vapor pressure) in January; VPJL²: monthly mean humidity (partial vapor pressure) in July; BISCRJN²: bioclimatic index of severity of climatic regime; BISCRJL²: bioclimatic index of severity of climatic regime; DIFBISCR²: difference between BISCRJN² and BISCRJL², reflecting the effect of interseasonal differences in the climatic conditions.

Leur explication du phénomène est que l'os serait tributaire de l'adaptation métabolique corporelle survenant avec les changements climatiques, ainsi, plus les variations sont grandes et plus le vieillissement osseux apparaîtrait précocement et rapidement.

Dans un tout autre registre, la gestation et l'allaitement provoquent chez la femme (enceinte ou allaitante) une modification de la masse osseuse ⁽¹⁵⁷⁾, de même qu'un traitement corticoïde à dose moyenne à forte (>10mg/j) au long cours pourra induire une ostéopénie/ostéoporose ce qui peut rendre un système semi-automatisé d'évaluation de l'âge ⁽⁴⁾ incapable d'interpréter la radiographie du sujet. Notons encore que, dans les facteurs mécaniques, toute fracture située dans une zone potentielle d'évaluation de l'âge osseux ⁽⁹³⁾ rendra celle-ci quasi impossible.

8.1.2 Facteurs liés à la technique

8.1.2.1 Qualité de réalisation

Il semble évident que toute technique nécessitant le conditionnement de pièces osseuses pour leur évaluation exige une bonne préparation du matériel (tel qu'ablation des tissus mous ^(60, 62, 96)) sans altération de ce dernier.

Il en va de même pour la qualité de la radiographie dont la technique de réalisation doit être irréprochable comme le relève BOWDEN ⁽²⁷⁾ à propos des méthodes évaluant l'âge osseux sur la base de radiographie du poignet. A ce propos, ALBANESE ET COLL. ⁽⁴⁾ notent, par exemple, qu'une sous exposition de la radiographie peut rendre celle-ci inexploitable pour un traitement informatisé de l'évaluation de l'âge. COX ⁽⁵⁰⁾ note qu'une légère rotation du poignet ou une mauvaise technique d'exposition (distance foyer-film, kilo-Voltage, milli-Ampérage,

durée d'exposition) altère grandement l'évaluation et que, de toute manière, ce genre de radiographie n'est qu'une représentation bidimensionnelle d'une réalité tridimensionnelle. Enfin, TANNER ET COLL. trouvent un taux de rejet d'environ 15% de radiographies, non exploitables à cause d'une mauvaise visualisation de l'extrémité distale du radius et de l'ulna due à ces erreurs techniques.

8.1.2.2 Précision

Elle dépend à la fois du traitement statistique des données (voir plus bas) et des données elles-mêmes obtenues par le processus d'investigation. Ainsi pour BIGGERSTAFF ⁽²⁴⁾, il est très peu probable que la radiographie du poignet et de la main du sujet montre une correspondance parfaite des centres de maturation avec ceux visibles sur les clichés de référence de l'atlas de GP. D'autre part BENSO ET COLL. ⁽¹⁸⁾, tout comme ATTALLAH & MARSHALL ⁽¹⁰⁾, notent que la maturation osseuse n'est pas au même stade au même moment pour tous les os du corps et de la main et que, de plus, cette maturation est artificiellement jugée en stades alors qu'il s'agit d'un continuum de maturation avec un certain os présentant à un moment donné une relative avance sur les autres qui ensuite le rattraperont, d'où la difficulté à décider quel os montre le mieux l'âge chronologique du sujet.

LIU ET COLL. ⁽¹³⁵⁾ ont mis au point une méthode complexe d'extraction automatique des régions d'intérêts (radius, ulna, phalanges) et d'assignation de caractéristiques liées à l'âge (taille, morphologie, état de fusion selon TW3) à ces régions dont les résultats ont par la suite été soumis à un traitement informatique de type réseau neuronal afin d'aboutir, après entraînement à l'aide de 1046 radiographies numériques de poignet gauche d'enfants chinois des deux sexes (âgés de 2 à 26 ans), à une évaluation automatisée de l'âge du sujet. Leur technique s'est montrée reproductible car les estimations tests donnaient une estimation comparable à celle de la méthode TW3. Ce résultat est intéressant car il montre qu'une automatisation est possible avec comme corollaire une meilleure reproductibilité ... mais la précision de la méthode informatisée n'améliore pas, bien entendu, les estimations de la méthode TW qui lui a servi de référence!

Enfin CASTRIOTA-SCANDERBERG ET COLL. ⁽⁴¹⁾ en comparant la technique US de la tête fémorale avec les résultats obtenus au moyen des méthodes classiques GP, TW-RUS, TW-B20 (qui ont montré une bonne concordance et précision entre elles avec, p. ex. 95% des observations dans un intervalle de 2,45 ans pour TW-RUS et TW-B20) ont pu déceler un manque de précision de la méthode US (l'intervalle

devient de 4,19 à 5,13 ans). De leur résultats ils concluent à une sensibilité de 72,5% et une spécificité de 56,8% pour la méthode US ce qui rend celle-ci non utilisable cliniquement.

8.1.2.3 Reproductibilité

Elle concerne soit la réalisation technique de l'examen (préparation de pièces osseuses; protocole de techniques biochimiques ou histo/microscopiques; positionnement, facteurs d'exposition et traitement de l'image pour les techniques radiologiques) soit son interprétation. Dans ce dernier cas, plus la technique est simple, comme pour la méthode de l'atlas GP, moins le degré de formation de l'observateur est prépondérant ⁽²⁰⁾, néanmoins, pour GROELL ET COLL. ⁽⁷⁹⁾, cette méthode ayant un aspect subjectif, elle reste sensible à l'expérience des observateurs : plus ils sont expérimentés et moins grandes sont les variations intra- et inter-observateurs. D'ailleurs la plupart des auteurs, comme BOWDEN ⁽²⁷⁾ par exemple, pensent qu'une calibration préalable de l'observateur est préférable afin d'obtenir des résultats plus constants. En effet, COX ⁽⁵⁰⁾ relève, pour la méthode TW, que la qualité de l'estimation* est tributaire de la reproductibilité d'un observateur (variation du résultat de $\pm 0,54$ à $\pm 0,82$ an) et entre observateurs (variation d'environ ± 1 an) dans un intervalle de confiance de 95%.

8.1.3 Facteurs liés à la méthode statistique

8.1.3.1 Influence du modèle mathématique

Dans leur article très orienté sur la méthodologie statistique, AYKROYD ET COLL. ⁽¹¹⁾ démontrent que le défaut commun à presque toutes les études, qui consiste en une attraction par le milieu des âges estimés (âge estimé trop vieux pour les jeunes et trop jeune pour les plus âgés), provient de l'analyse par régression* généralement utilisée.

8.1.3.2 Taille de l'échantillon

Quand bien même la taille de l'échantillon de certaines études semble suffisamment grande pour assurer une puissance statistique suffisante, le morcellement en sous-groupes peut permettre de douter des conclusions de ces études. Par exemple, LÉONETTI ET COLL. ⁽¹²⁹⁾ ont bien 292 crânes à disposition pour leur étude de la variation de l'angle sphénoïdal entre 15 et 90 ans (par tranche

d'âge de 5 ans, soit 15 tranches) mais cela pour 2 populations d'origine différente (Afrique/Europe) et pour 2 sexes. Ainsi au mieux, dans leur tranche d'âge la plus nombreuse (35-39 ans, 40 sujets) on peut s'attendre en moyenne à 10 sujets par sous-groupe et dans les trois tranches les moins dotées (15-19 ans, 3 sujets; 85-90 ans, 10 sujets; 75-79 ans, 16 sujets) respectivement 0,75, 2,5 et 4 sujets!

De même, KOC ET COLL. ⁽¹⁰⁷⁾ qui soutiennent l'existence d'une différence de maturation entre leur échantillon de garçons turcs âgés de 7 à 17 ans par rapport aux standards de GP n'ont que 11 sujets dans la catégorie d'âge 7 ans, 13 dans celle de 16 ans et 4 dans celle de 17 ans.

8.1.3.3 Taille de la tranche d'âge

De celle-ci dépendra la précision de la méthode : plus la tranche d'âge est petite plus l'âge estimé s'approchera de l'âge chronologique. Cependant cela nécessite un échantillon nettement plus grand au départ. En fonction de l'objectif de l'estimation de l'âge, certaines études comme celles de LÉONETTI ET COLL. ⁽¹²⁹⁾ (tranche d'âge de 5 ans) ou de KOBLYANSKY ET COLL. ⁽¹⁰⁶⁾ (tranche d'âge de 10 ans) pourront (anthropologie) ou ne pourront pas (estimation de l'âge entre 16 et 21 ans pour la médecine légale) être directement utilisées.

Finalement, lors de l'établissement d'une méthode d'analyse statistique, on peut se demander s'il ne vaudrait pas mieux s'en tenir au nombre de jours des sujets ce qui aurait l'avantage de travailler avec une variable continue plutôt que discrète.

8.1.3.4 Précision et intervalle de confiance

Comme précédemment mentionné, la précision est tributaire de la tranche d'âge utilisée dans l'étude à laquelle on fait référence. D'autre part et comme l'estimation de l'âge se base sur des modèles statistiques, il faut garder à l'esprit que l'âge estimé selon une méthode donnée (et pour autant que la distribution de l'échantillon montre une distribution normale) comporte une marge d'erreur (comme la déviation standard) qui est d'autant plus grande que la probabilité que l'âge estimé soit correct (soit l'intervalle de confiance) est grande. Il est donc très important d'en tenir compte lors d'une estimation d'âge. Par exemple en prenant la méthode quantitative d'ATTALLAH & MARSHALL ⁽¹⁰⁾ utilisant la longueur des membres (selon leur exemple : garçon avec bras de 27 cm, avant-bras de 21,5 cm et jambe de 34 cm l'âge estimé = $-9,25 + 0,39 \times 21,5 + 0,35 \times 34 + 0,03 \times 27 = 11,9$ ans) et pour un âge d'un garçon estimé à 11,9 ans la déviation standard est de

$\pm 0,99$ ans. Ceci veut dire, comme la distribution est de type normal dans leur étude, que ce garçon a 68% de chance (=intervalle de confiance) d'avoir un âge de 10,91 à 12,89 ans ... et 32% de chance d'avoir un âge en dessous de 10,91 ans ou en dessus de 12,89 ans. L'estimation* de l'âge à l'aide de cette méthode est relativement précise (1,98 ans de marge d'erreur) mais sans forte probabilité d'avoir un résultat correct. On peut améliorer cette probabilité en augmentant la marge d'erreur en prenant dans cet exemple deux déviations standard. La marge d'erreur est maintenant de 3,96 ans mais la probabilité que l'estimation soit correcte (l'intervalle de confiance) est de 95% (il n'y a donc que 5% de risque que l'âge estimé soit inférieur à 9,92 ans ou supérieur à 13,88 ans). On reconnaît donc la limite de prédiction d'une étude en fonction de la marge d'erreur et de l'intervalle de confiance annoncé. D'autre part, comme le relèvent GROELL ET COLL. ⁽⁷⁹⁾, la sous estimation de l'évaluation de l'âge généralement retrouvé par comparaison aux standards GP, et généralement imputée à l'origine ethnique différente des sujets (comparé à ceux de GP), lorsqu'elle est inférieure à une année, reste dans la marge d'erreur de la méthode GP qui tient compte de la variabilité intra-individuelle.

8.1.3.5 Confirmation de résultats, comparaison entre méthodes

En général, d'après BULL ET COLL. ⁽³⁰⁾ si une étude longitudinale doit être réalisée, elle devrait toujours utiliser exactement la même méthode d'évaluation de l'âge osseux.

8.1.3.5.1 Nouvelle méthode

Typiquement, dans cette situation, la difficulté est de pouvoir confronter les résultats obtenus à ceux établis par une étude de référence. En l'absence d'une telle comparaison, les résultats de la nouvelle technique ne devraient être considérés que comme expérimentaux ⁽⁸²⁾. De plus, en cas de méthode totalement différente des méthodes usuelles, comme par exemple l'évaluation par l'étude de la propagation des ondes US ⁽¹⁰⁴⁾, on peut se demander quelle méthode pourra servir de comparaison sachant que déjà pour des méthodes similaires comme TW2 et Fels certains auteurs s'accordent pour dire que, en plus des différences de méthodologie statistique, il existe des différences relatives au système de score rendant la comparaison non pertinente ⁽²⁵¹⁾.

8.1.3.5.2 Entre méthodes observant les mêmes zones

MILNER ET COLL. ⁽¹⁶⁰⁾ ont comparé la méthode de l'atlas GP et la méthode des scores TW2 et ont retrouvé un âge estimé sensiblement plus jeune que l'âge réel avec la méthode de GP (de 0,9 à 1 an) dans leur échantillon de 58 filles et 66 garçons britanniques (2 à 16 ans). Ceci est une fois de plus imputé à la différence d'origine socio-économique des échantillons, alors qu'une telle valeur de différence s'inscrit dans la variabilité intra-individuelle selon GP ⁽⁷⁸⁾.

D'autre part, si l'objectif est de comparer des méthodes d'évaluation de l'âge, alors il serait raisonnable, d'après GILLI ⁽⁷⁶⁾ de tester des méthodes appliquées sur des échantillons de populations provenant de milieu socio-économique identique ce qui n'est, par exemple, pas le cas pour GP (population aisée avec en général estimation de l'âge plus jeune que réel), TW (population défavorisée avec âge évalué plus âgés que réel) et Fels (population de classe moyenne avec maturation intermédiaire par rapport à GP et TW).

Enfin dans cette dernière situation, la méthode statistique de la comparaison joue aussi un rôle important. Ainsi BULL ET COLL. ⁽³⁰⁾ ont comparé GP et TW2, non pas à l'aide du classique coefficient de corrélation* qui provient d'une analyse de régression (et qui est bon, $r=0,96$ pour eux), mais à l'aide d'une méthode de dispersion des résultats (dite de "Bland-Altman") qui donne une différence de l'âge osseux à l'âge réel de 2,28 à -1,52 pour un intervalle de confiance à 95%. Ceci démontre que les résultats de chaque méthode ne sont pas vraiment comparables entre eux, ce qui sous entend que les méthodes ne le sont pas davantage.

8.2 À PROPOS DE L'ÂGE DENTAIRE

Les limites à ce niveau peuvent être d'ordre technique et/ou statistique, liées à l'observateur, voire une combinaison de ces limites en fonction de la méthode d'évaluation de l'âge dentaire utilisée.

8.2.1 Limite d'ordre technique

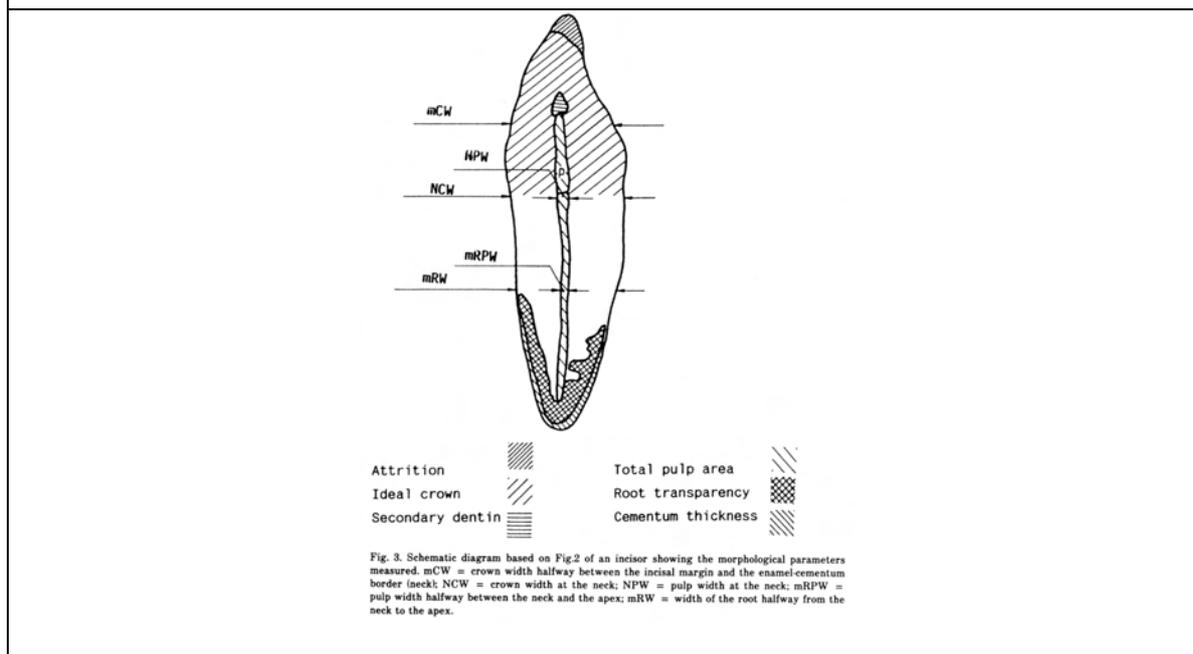
KVAAL & SOLHEIM ⁽¹¹⁹⁾ notent que même pour une technique extrêmement répandue comme la radiographie intrabuccale il est possible d'altérer les valeurs des données recherchées, comme la taille pulpaire dans leur étude, par une simple angulation plus mésiale* ou verticale (ou les deux) du rayon central par rapport au plan du film et/ou par un positionnement non parallèle du film par

rapport à la dent (au total le rayon central n'est plus perpendiculaire au plan du film qui lui même n'est plus parallèle à la dent et donc l'image projetée de la dent est très déformée). Cette difficulté technique radiologique dépend du degré de fiabilité que l'on peut avoir en prenant des mesures de longueur sur des représentations (images) bi-dimensionnelles d'objets tri-dimensionnels, et cela particulièrement sur la base de technique tomographique comme l'OPT. A ce propos, CARELS ET COLL. ⁽³⁸⁾ ont démontré que, pour autant que la tête du patient ne soit pas fléchie de plus de 13° (dans le plan sagittal), les mesures demeurent fiables. Par contre, une bascule latérale de la tête entre 4,5-10° provoque un agrandissement de 3,5% de la dent (se trouvant du côté basculé vers le bas).

8.2.2 Limite statistique

Il est communément admis que la plupart des méthodes d'évaluation de l'âge utilisant une analyse statistique par régression (multiple en fonction du nombre de critères) provoquent une estimation avec attraction des âges vers le milieu : les sujets les plus jeunes ont un âge surestimé et les plus âgés montrent une sous-estimation. PRINCE & KONIGSBERG ⁽¹⁹³⁾ ont donc essayé une autre approche statistique basée sur le théorème de Bayes (avec une probabilité antérieure, une vraisemblance et une probabilité postérieure) pour déterminer l'âge au décès de 401 sujets (dents monoradiculées) kosovars connus avec comme conséquence (et pour les deux critères : récession gingivale et transparence dentinaire) une meilleure corrélation* entre l'âge réel et l'âge prédit ($r=0,73$) qu'avec la méthode de Lamendin ($r=0,67$) ou celle de Prince & Ubelaker ($r=0,70$) ainsi qu'une réduction de l'erreur moyenne (1,51 ans versus 4,85 5,27 ans respectivement). Pareillement, LUCY ET COLL. ⁽¹⁴³⁾ remettent en cause l'approche statistique par régression linéaire uni ou multivariée utilisée, par exemple avec la méthode de Gustafson, car avec une telle analyse : les variables devraient progresser de façon continue avec l'âge ce qui n'est pas forcément le cas de la récession gingivale (en cas de maladie parodontale). De plus les variables ne devraient pas se voir assigner un score, car l'approche ordinale n'est par définition pas continue! Enfin dans cette méthode toutes les variables sont censées contribuer selon la même pondération pour obtenir l'âge. Ceci a été invalidé par plusieurs auteurs ^(143, 231) qui ont montré que c'est la transparence dentinaire et la dentine secondaire dans cette méthode qui étaient le mieux corrélées à l'âge. De plus LOPES-NICOLAS ET COLL. ⁽¹⁴⁰⁾ l'ont confirmé à l'aide d'une étude semi-automatisée (Fig. 54).

Figure 54 Éléments mesurés par la méthode semi-automatique informatisée selon LOPES-NICOLAS ET COLL. ⁽¹⁴⁰⁾



En conséquence, LUCY ET COLL. ⁽¹⁴³⁾, ont tenté d'appliquer le théorème de Bayes comme analyse statistique pour déterminer l'âge d'après la méthode de Gustafson (modifiée selon Johanson) et ont obtenu une marge d'erreur de 19.4 ans pour un intervalle de confiance de 95% (versus 37,9 ans selon l'approche par régression multiple de leur échantillon de 71 incisives latérales maxillaires). L'analyse non paramétrique s'avère ici plus efficace dans la prédiction de l'âge d'un individu, non que sa précision soit beaucoup plus grande (moyenne de l'erreur absolue de 7 ans versus 7,8 ans pour l'analyse de régression multiple) mais parce qu'elle réduit la marge de l'intervalle de confiance. En conséquence, et comme cela a déjà été observé pour la maturation osseuse (voir plus haut), la méthode non paramétrique semble mieux adaptée à l'analyse de données ordinales, le modèle traditionnel par régression ne devrait donc être utilisé que pour des données continues ⁽¹⁴³⁾. Pour cette raison, MÖRNSTAD ET COLL. ⁽¹⁶³⁾ proposent d'utiliser l'âge en jours dans leur étude afin que leurs données soient paramétriques et non ordinales.

Une autre limite parfois évoquée concerne l'inconsistance de comparaison entre les nouvelles études et celles réalisées au siècle passé. L'effet séculaire* ne semble néanmoins pas influencer de manière significative la maturation dentaire comme le relèvent HOLTGRAVE ET COLL. ⁽⁹⁴⁾ dans leur étude qui montre que, en 1997, seuls les garçons entre 3 et 9 ans ont vu une "accélération" de seulement

6-9 mois dans leur minéralisation dentaire par rapport aux garçons du même âge des années 1960, et qu'aucun changement n'a eu lieu pour les filles.

8.2.3 Limite liée à l'observateur

Un écueil potentiel largement relevé dans la littérature concerne la reproductibilité d'une estimation d'âge. Presque toutes les méthodes ont été testées pour établir le degré de variation dû à un ou plusieurs observateurs.

Par exemple en ce qui concerne la maturation dentaire, LEVESQUE & DEMIRJIAN ⁽¹³¹⁾ en 1980 ont trouvé en moyenne une variation pour six examinateurs de plus ou moins un stade de maturation dans l'évaluation de 191 cas différents. Les différences étaient plus marquées pour l'évaluation des canines (concordance entre observateurs de 70%) puis pour les prémolaires (concordance de 75%) et enfin les molaires et incisives (80%). Plus récemment OLZE ET COLL. ⁽¹⁷⁸⁾ ont testé la variation inter et intra-observateurs (deux) pour la détermination des stades de minéralisation et de l'âge dentaire de la dent 38 à partir de 420 OPT et selon 5 méthodes: Gleiser & Hunt (10-16 stades), Demirjijan et coll. (8 stades), Gustafson & Koch (4-5 stades), Harris & Nortjé (4-5 stades), Kullman (7 stades). OLZE ET COLL. remarquent que de nombreuses études de validité de classification du stade de minéralisation ont été effectuées (ils en reportent au moins cinq testant en tout six méthodes) mais que leur intérêt est limité car les données utilisées sont celles de l'échantillon de référence de ces études. Ainsi, de possibles différences de taille des échantillons, d'origine ethnique, de groupes d'âges et d'état de santé des populations étudiées ont probablement contribué aux différences remarquées entre les méthodes. C'est pourquoi ces auteurs ont utilisé une autre technique statistique (coefficient kappa pondéré et coefficient eta) permettant d'évaluer indépendamment les différents stades de minéralisation de leur échantillon d'origine et il en résulte que la méthode de Demirjijan démontre non seulement la meilleure corrélation* avec l'âge réel mais aussi la meilleure concordance intra- et inter-observateurs.

Pour ce qui est de la variation entre observateurs avec une technique quantitative assistée par ordinateur (mesure objective de la taille coronaire, radiculaire et pulpaire) ou quantitative subjective (comparaison des dents observées en stades par rapport à des longueurs radiculaires attendues), KULLMAN ET COLL. ⁽¹¹⁷⁾ ont montré moins de différences lorsque plusieurs dents étaient évaluées au moyen

de la méthode objective, mais aussi une grande variabilité avec cette méthode si une seule dent était évaluée.

En ce qui concerne les méthodes relatives aux changements régressifs*, WILLEMS ET COLL. ⁽²⁶³⁾ ont trouvé qu'avec celle de Bang & Ramm (évaluation de la longueur de la transparence de la dentine radulaire sur dent extraite) et avec une méthode radiologique (calcul du rapport de largeur de la cavité pulpaire à la taille de la racine à différents niveaux : jonction émail-cément; ¼ longueur radulaire; ½ longueur radulaire) applicable au sujet vivant, les différences observées entre examinateurs n'étaient pas statistiquement significatives. Par contre des différences intra-observateur ont été reportées chez les examinateurs non expérimentés pour les 2 techniques. Pour la technique multicritère de Gustafson, BORRMAN ET COLL. ⁽²⁵⁾ ont démontré une différence systématique entre les observateurs pour l'assignation des scores aux différents critères et en concluent que le degré de confiance dans l'estimation* de l'âge sur dents extraites ne peut être total!

8.2.4 Limites en fonction de la méthode d'évaluation

WILLEMS ⁽²⁶²⁾ a synthétisé les méthodes les plus fréquemment utilisées pour évaluer l'âge dentaire (Tab. 25) et relève que la déviation standard de l'âge dentaire par rapport à l'âge chronologique selon ces techniques varie jusqu'à 10-12 ans.

Tableau 25 Différentes catégories de méthodes d'évaluation de l'âge dentaire reportées par WILLEMS ⁽²⁶²⁾	
Age dentaire chez l'enfant	
A) Par comparaison à des images standard (approche de type atlas)	
Schour & Massler	Table à 20 stades / de 4 mois post-natal à 21 ans
Moorrees et coll.	Différentes tables (F & M) pour différentes dents avec 14 stades (de la calcification des cuspidés à l'apexification complète)
Anderson et coll.	Tables de Moorrees et coll. complétées avec les dents de sagesse
B) Par système de score de maturation*	
Demirjian et coll.	8 stades de développement dentaire (A à H) par dent. La somme des scores des dents de l'hémi-mandibule gauche donne un score global de maturation dentaire qui est converti en âge chronologique au moyen d'une table spécifique à la population concernée (à l'origine, des sujets franco-canadiens)
Willems et coll.	Adaptation de la méthode de Demirjian avec une table de conversion spécifique pour les Belges d'origine caucasioïde*
Age dentaire chez l'adulte	
A) Méthode morphologique	
Gustafson	Mesure de l'altération dentaire liée au temps : degré d'attrition (A), quantité de dentine secondaire coronaire (S), perte d'attache parodontale (P), apposition de cément à l'apex* (C), résorption

	apicale (R), transparence dentinaire radulaire (T). Chacun des paramètres reçoit un score (0 à 3) et la somme des scores (X) est ensuite linéairement corrélée à l'âge (selon la formule de régression* linéaire : $Age = 11,43 + 4,56 \cdot X$)
Johanson	Amélioration de la méthode de Gustafson avec score de 0 à 6 et formule de régression multiple ($Age = 11,02 + 5,14 \cdot A + 2,3 \cdot S + 4,14 \cdot P + 3,71 \cdot C + 5,57 \cdot R + 8,98 \cdot T$)
Bang & Ramm	Mesure uniquement de la longueur de la transparence dentinaire radulaire (X) avec formule de régression polynomiale du second degré ($Age = B_0 + B_1 \cdot X$)
Solheim	Mesure de différents paramètres régressifs (rapport de taille du volume dentaire : pulpe/racine, ...) et analyse par régression multiple. Dents non sectionnées, mais le plus souvent extraites
B) Méthode radiologique	
Kvaal et coll.	Evaluation de la taille pulpaire sur radiographie intra-buccale (apicale) de 6 dents (au maxillaire : une incisive centrale, une incisive latérale, une 2 ^{ème} prémolaire ; à la mandibule : une incisive latérale, une canine, une 1 ^{ère} prémolaire) par le biais de sept rapports (p. ex. taille pulpaire/longueur radulaire, ...) et de trois moyennes de ces rapports. Analyse par régression
Kvaal & Solheim	Identique à la méthode précédente mais aussi sur dents extraites

8.2.4.1 Difficulté d'évaluation de l'âge par la maturation* dentaire

STAAF ET COLL. ⁽²³⁷⁾ dénotent dans leur étude comparant la maturation dentaire selon Demirjian, Haaviko ou Liliequist une prédiction de l'âge à ± 2 ans avec un intervalle de confiance à 95%. Pour leur échantillon de 541 enfants suédois (de 5,5 à 14,5 ans) la maturation dentaire est surestimée de 9,6 mois par rapport à la population franco-canadienne (Demirjian). Elle est moindre pour les 2 autres méthodes (~ -6 mois / Haaviko; $\sim +7$ mois pour M et idem pour F/ Liliequist) dont les échantillons étaient scandinaves, relevant ainsi la problématique de l'ethnicité de la population de référence. HÄGG & MATSSON ⁽⁸⁶⁾ en comparant la technique de Demirjian à celle de Gustafson & Koch et Liliequist & Lundberg trouvent pourtant une meilleure précision pour la première alors que leur échantillon est aussi constitué d'enfants suédois! Cependant la déviation standard entre 3,5 et 12,5 ans est tout de même de ± 10 mois pour un intervalle de confiance de 95%. A propos de ces deux dernières études CROSNER & MANSFELD ⁽⁵¹⁾ ont montré que leur application était adéquate pour leur propre étude d'évaluation de l'âge de 23 enfants non-européens adoptés et d'âge connu mais différait probablement d'un an ou plus chez leurs autres 21 enfants non-européens d'âge incertain. Enfin MABER ET COLL. ⁽¹⁴⁸⁾ ont remarqué que la méthode la plus précise pour déterminer la maturation dentaire de 946 enfants d'origine britannique ou du Bangladesh (entre 3 et 16,99 ans), était celle de Willems (soit la méthode de Demirjian révisée) pour laquelle l'âge estimé chez le garçon ne montrait pas de différence statistiquement significative par rapport à l'âge réel ($-0,05$ ans) alors que chez les

filles la différence (statistiquement significative) était de -0,2ans pour une déviation standard de 0,85an. Ces valeurs ont été trouvées moins bonnes avec la méthode d'Haaviko et encore moins bonnes avec la méthode de Nolla. Ils concluent que l'origine de la différence est plus à mettre en relation avec l'initiation de la formation dentaire (et des dents de sagesse en particulier) qu'avec une supposée différence ethnique de la maturation. Enfin OLZE ET COLL. ⁽¹⁷⁸⁾ ont comparé, sur 420 OPT de sujets féminins allemands âgés entre 12 et 25 ans, l'état de la minéralisation de la dent 38 selon la méthode de Gleiser & Hunt, Demirjian et coll., Gustafson & KochHaris & Nortjé, Kullman et coll. Ils ont trouvé que la méthode de Demirjian est la plus adaptée, car elle a montré la meilleure corrélation* entre l'âge estimé et l'âge réel. Ils en concluent que cela tient à la méthode elle même : nombre suffisant de stades qui, par ailleurs, n'ont pas été élaborés en fonction d'une longueur présumée de la dent.

8.2.4.2 Difficulté d'évaluation de l'âge sur les altérations liées au temps

AJMAL ET COLL. ⁽²⁾ ont comparé trois méthodes sur 100 patients de Mangalore (Inde) âgés entre 21 et 60 ans ayant eu une dent extraite pour raison orthodontique. deux de ces méthodes étaient des modifications à la méthode de Gustafson (selon Johanson et selon Kashyap), la dernière étant une évaluation purement clinique : méthode du stade moyen d'attrition* sur les cuspides des molaires (ASA: average stage of attrition, selon Li 1995). En moyenne la déviation standard était de $\pm 5,5$ ans selon Johanson, $\pm 5,4$ ans selon Kayap, $\pm 3,4$ ans selon Li. Cependant si l'on observe de plus près les résultats par tranche d'âge, on s'aperçoit que l'erreur moyenne est une sous-estimation de 1,66 ans entre 21-30 ans selon Li et 3,46 ans selon Kayap alors que pour le groupe 31-40 ans il y a une légère surestimation de l'âge selon Li (0,21 an) et une sous estimation non significative selon Kayap (0,09 ans) (table 5 dans Tab. 26). Ceci tend à montrer une certaine inconsistance de ces méthodes confirmée par leur manque de précision : estimation d'âge avec une erreur de ± 3 à 10 ans selon la méthode ASA dans 22% des cas (table 2 dans Tab. 26).

Tableau 26 Estimation de l'âge selon 3 techniques d'après les Tab. 2 & 5 de AJMAL ET COLL. ⁽²⁾

Table 5 Dental age estimation by three methods ^a					Table 2 Dental age estimation by three different methods ^a			
Methods	Age groups (years)				Methods	Excellent	Acceptable	Unsatisfactory
	21-30	31-40	41-50	51-60				
ASA	-1.66	0.21	-0.14	1.04	ASA	78	22	0
Johanson	-3.11	-1.35	0.8	1.28	Johanson	54	43	3
Kashyap	-3.46	-0.09	0.87	2.6	Kashyap	34	56	10

^a Mean of the error in years in different age groups.

^a Percentage of age estimates with error $<\pm 3$ are excellent; with error $<\pm 10$ are acceptable and error $<\pm 15$ are unsatisfactory.

SOOMER ET COLL. ⁽²³⁶⁾ ont testé la praticité et la précision de 8 méthodes : Kvaal in situ, soit chez le vivant soit sur dent extraite; Bang dent extraite; Bang dent extraite et sectionnée; Solheim in situ chez le vivant ; Solheim sur dent sectionnée; Lamendin dent extraite; Johanson dent sectionnée. Leur conclusion est que les méthodes sectionnant les dents (coupes d'usure) sont les plus précises, mais comme cela reste une estimation de l'âge, la prédiction doit être accompagnée de la déviation standard et de l'intervalle de confiance.

Si l'on considère l'estimation de l'âge au décès d'une personne, il est étonnant de constater que, selon REPIEN ET COLL. ⁽¹⁹⁹⁾, celle-ci ne semble pas dépendre du lieu de découverte du corps : 71% d'estimation correcte de l'âge pour des cadavres retrouvés en extérieur (certains dans l'eau ou ayant subi une crémation) et 75% d'estimation correcte pour des cadavres retrouvés à l'intérieur.

UBELAKER & PARRA ⁽²⁵⁰⁾ ont montré que la méthode de Lamendin n'était que peu dépendante de la population de la région considérée, la déviation standard de l'âge estimé à l'âge réel variant en moyenne entre 6 et 7,7 ans pour différentes populations péruviennes.

D'autre part il est intéressant de noter, comme le démontre l'étude de MEINL ET COLL. ⁽¹⁵⁵⁾, qu'une méthode considérée comme plus précise (comme le TCA versus Lamendin) peut, en fait, ne l'être que pour un tranche d'âge donnée (41-60 ans) (Tab. 27).

Tableau 27 Limite de précision selon les méthodes d'après le Tab. 4 de MEINL ET COLL. ⁽¹⁵⁵⁾

Table 4 Standard deviation (S.D.) as measure for precision for the young, middle, old age group and all ages		
Precision		S.D.
Age groups 20-40	LAM	3.6
	BR	6.8
	TCA	4.8
41-60	LAM	11.7
	BR	13.3
	TCA	6.9
>60	LAM	7.6
	BR	10.5
	TCA	12.6
All ages	LAM	15.9
	BR	14.9
	TCA	9.4

Pour terminer et bien que REPIEN ET COLL. ⁽¹⁹⁹⁾ prétendent à une bonne précision des méthodes d'évaluation purement clinique, mais sur un petit échantillon de 12 cas sur 51 seulement, d'autres auteurs, comme AZRAK ET COLL. ⁽¹²⁾, ont pu montrer que l'évaluation clinique seule de l'état bucco-dentaire (index DMFT, niveau de l'os alvéolaire) était trop peu précise avec un âge estimé à ± 15 ans pour un intervalle de confiance de 95% pour les deux sexes.

8.3 GÉNÉRALITÉS CONCERNANT L'ÂGE D'UN INDIVIDU

En définitive, et comme le rappèlent BERNDT ET COLL. ⁽¹⁹⁾, l'âge biologique s'estime à partir de l'aspect physique et des performances d'une personne (présence de rides, tonus, capacités mnésiques, ...), éléments dépendant de l'état de santé corporelle et psychique. Ainsi, l'estimation* de l'âge, étant partiellement subjective, est souvent non concordante avec l'âge chronologique et l'observateur peut trouver que la personne fait "plus jeune" ou "plus vieille" que son âge civil.

9 DES PERSPECTIVES RELATIVES A L'ÉVALUATION DE L'ÂGE

D'une manière générale et quelle que soit la méthode d'évaluation utilisée actuellement, il ressort que des améliorations sont envisageables à trois niveaux clés de l'évaluation de l'âge osseux ou dentaire : technique, statistique et de l'examineur.

9.1 CONCERNANT LA TECHNIQUE

Si l'on considère par exemple l'étude de la courbe démographique de populations anciennes, comme dans l'article de MILES de 1969 ⁽¹⁵⁹⁾, on pourrait probablement arriver à une meilleure estimation* des âges dentaires à l'aide de techniques modernes, comme le dépôt annulaire de ciment ou la racémisation* évoquée plus haut, plutôt que sur la base de l'attrition* occlusale uniquement, cette dernière étant largement dépendante des aliments et de leur conditionnement, qui, pour les temps anciens, ne nous sont qu'imparfaitement connus. Cela ne permet donc pas de trouver une population de référence actuelle comparable (pour le conditionnement de l'alimentation) pour pouvoir déterminer l'âge d'un échantillon ancien sur ce critère alors qu'il semble plus probable que la déposition de ciment ait été constante dans les siècles passés.

9.1.1 A propos de techniques d'imagerie

Bien que la technique de LÉONETTI ET COLL. soit peu précise et leur étude réalisée sur de très petits sous-groupes de population, la variation de l'angle sphénoïdal avec l'âge devrait pouvoir être aisément évaluée, et cela de manière semi-longitudinale sur les téléradiographies du crâne de profil strict utilisées en quasi routine dans les services d'orthodontie des universités ou des cabinets d'orthopédie dentofaciale ou encore de chirurgie maxillofaciale pour la réalisation de tracés céphalométriques en bilan ou en suivi de traitement d'orthopédie dentofaciale ou de chirurgie maxillofaciale (par exemple en bilan d'apnée obstructive du sommeil dans ce cas). De même il existe suffisamment d'IRM ou de CT de crâne réalisés pour diagnostic neuro-radiologique qui doivent permettre d'évaluer cet angle sur un très grand nombre de cas.

A l'échelon dentaire, et pour les techniques faisant appel soit à une méthode quantitative comme l'évaluation de la taille pulpaire soit à une méthode qualitative

comme la maturation des dents de sagesse, il devrait être possible de s'affranchir des difficultés et imprécisions liées à l'imagerie classique bidimensionnelle (respectivement, radiographies intrabuccale et problèmes d'angulation du film & du rayon central ⁽¹¹⁹⁾ avec représentation déformée de la pulpe résultante et superposition de structures anatomiques sur les dents de sagesse maxillaires rendant l'établissement du stade de maturation parfois impossible ⁽⁵⁹⁾) par le recours à l'imagerie multiplanaires à l'aide de la technique du ConeBeam-CT* et cela pour une irradiation bien moindre et donc plus acceptable qu'avec la TDM.

9.1.2 Autorisant l'application d'une méthode chez le sujet vivant

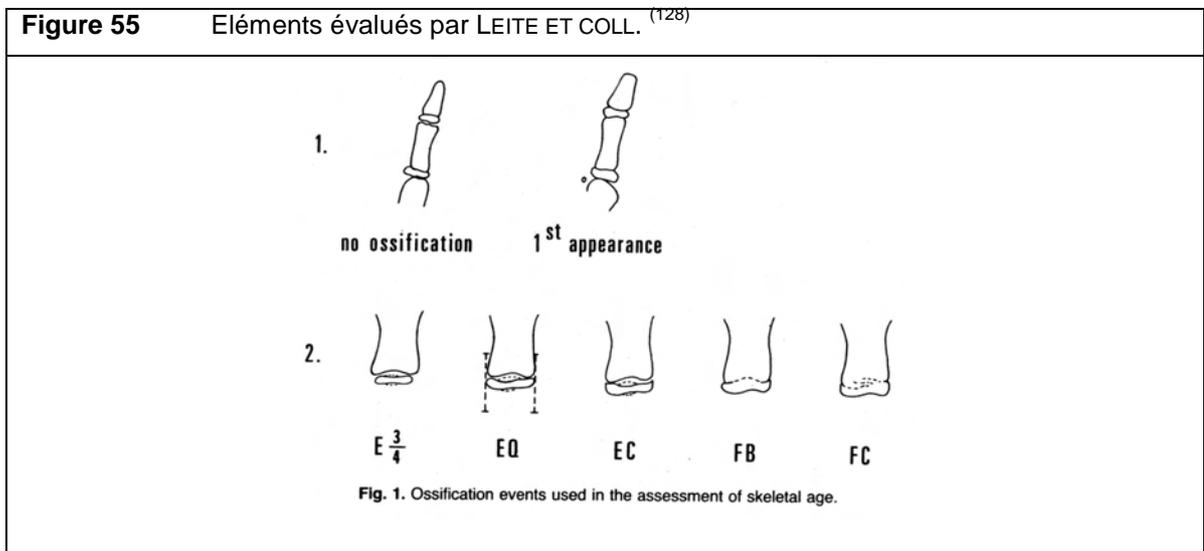
Etant donné que l'imagerie multiplanaire (donc la reconstruction 2D à partir de l'acquisition "axiale" – en fait hélicoïdale sur les CT de 3^{ème} et 4^{ème} génération) est actuellement de très haute résolution et permet d'observer avec précision la surface et l'état de la corticale osseuse cela devrait pouvoir rendre applicables des méthodes comme celle d'IŞCAN ET COLL. qui normalement nécessite la visualisation directe de la pièce anatomique (extrémité sternale de la 4^{ème} côte) "sèche".

C'est d'ailleurs ce qu'ont testé DEDOIT ET COLL. ⁽⁵³⁾ récemment à la fois sur des images 2D et 3D d'un échantillon de 39 pièces d'autopsie de personnes d'origine française de sexe et d'âge connus et en comparant leurs résultats avec la méthode macroscopique originale. Comme la variabilité intra- et inter-observateur était faible et que la précision de la méthode sur l'évaluation des images 2D était légèrement meilleure, ils concluent, à l'évidence, que cette technique est plus avantageuse que l'originelle car elle évite la préparation de pièces anatomiques et peut s'appliquer aux sujets vivants.

9.1.3 Diminuant l'irradiation du sujet vivant

Une manière de diminuer l'irradiation d'un sujet est de limiter les expositions, ce qui répond, en Suisse, à l'article 9 de la loi fédérale sur la radioprotection (LRaP 1991, principe d'optimisation) et c'est ce que proposent LEITE ET COLL. ⁽¹²⁸⁾ en faisant appliquer contre le support d'image et au devant du profil des tissus mous de la face les trois premiers doigts de la main gauche (le crâne montrera le profil droit côté film et les vertèbres cervicales et la thyroïde protégées par une collerette plombée). En fait ces auteurs ont observé l'apparition de l'os sésamoïde du pouce et les centres d'ossification des trois premiers doigts (Fig. 55) (sur des radiographies palmaires contenant, volontairement, toute la main et le poignet) et

estimé l'âge à la fois de cette façon et selon GP et n'ont trouvé qu'une faible avance de leur méthode sur l'âge osseux selon GP (1,55-4,45 mois pour la fille 0,32-2,89 mois pour le garçon, âgés respectivement de 10 à 16 ans et de 12 à 18 ans).



Une autre façon de diminuer l'exposition aux rayonnements ionisants est d'utiliser, si possible, des techniques d'imagerie n'utilisant pas ce genre de rayonnements comme avec l'US ou l'IRM.

Comme le relèvent CASTRIOTA-SCANDERBERG & DE MICHELI le recours à l'US est particulièrement intéressant pour l'enfant et l'adolescent en période de croissance, période à laquelle les cellules sont justement plus sensibles aux rayonnements ionisants ⁽³⁹⁾. Dans cet esprit, WAGNER ET COLL. ⁽²⁵⁸⁾ ont comparé les méthodes radiologiques classiques (comme étalons) d'évaluation de la maturation osseuse au niveau de la crête iliaque (Risser) et de la fermeture de l'épiphyse radiale distale (GP) avec l'US de ces centres d'ossification (Fig. 56).

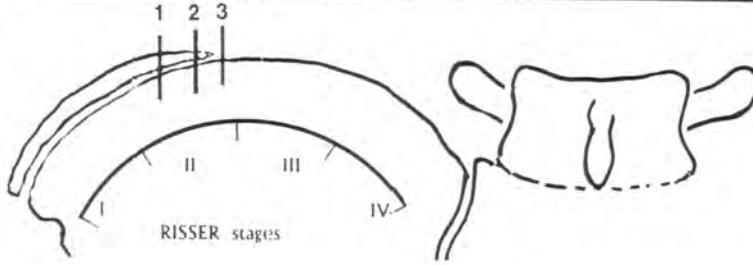
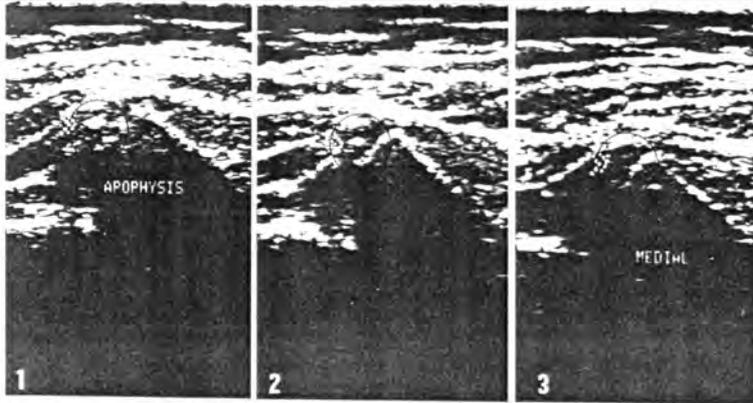


Fig. 2. Ultrasound images of the iliac crest apophysis. Ossification of the apophysis is clearly visible in the left picture (1, white arrow and within circle). In the intermediate zone, depicted in the second picture (2), ossification is diminishing. In the right picture (3), no ossification of the apophysis is visible. No fusion between ossification center and iliac crest is visible (additional criterion for differentiation between Risser's stages IV and V). This patient was classified as being in Risser's stage II. Orientation: cranial is left, caudal right)

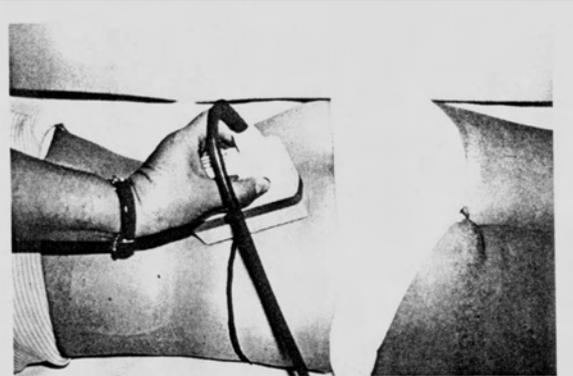


Fig. 1. Sonography is performed with the patient prone or in the lateral position; the study protocol prescribed scanning of the left iliac wing only. Scanning proceeds from the anterolateral to the posteromedial aspect of the iliac crest. The transducer has to be tilted at different angles to the surface over the iliac crest in order to visualize iliac bone apophysis ossification

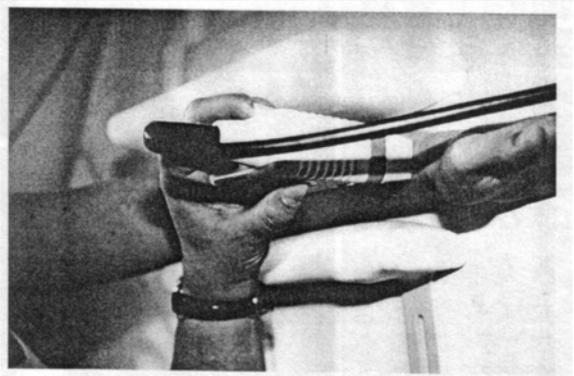


Fig. 3. Placement of transducer for sonography of the distal radial epiphysis. The transducer is placed longitudinally oriented along the distal radius. The distal part of the radius is then shown on right side of the sonogram. In Greulich and Pyle's classification, closure of the distal radial epiphysis indicates completion of skeletal growth

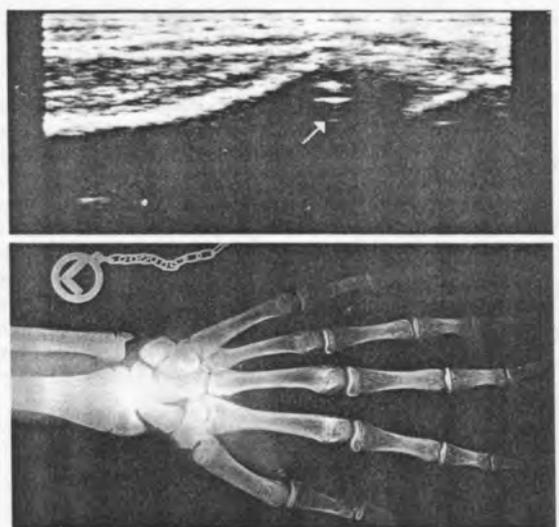


Fig. 4. Sonogram of the distal radial epiphysis with corresponding radiograph. The epiphysis is wide open (bone age 13.5 years, actual age 13 years), as is indicated by a broad echo within the epiphyseal plate (arrowhead)

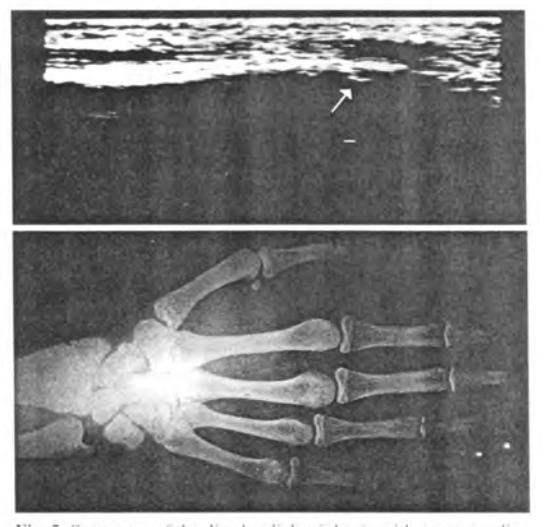
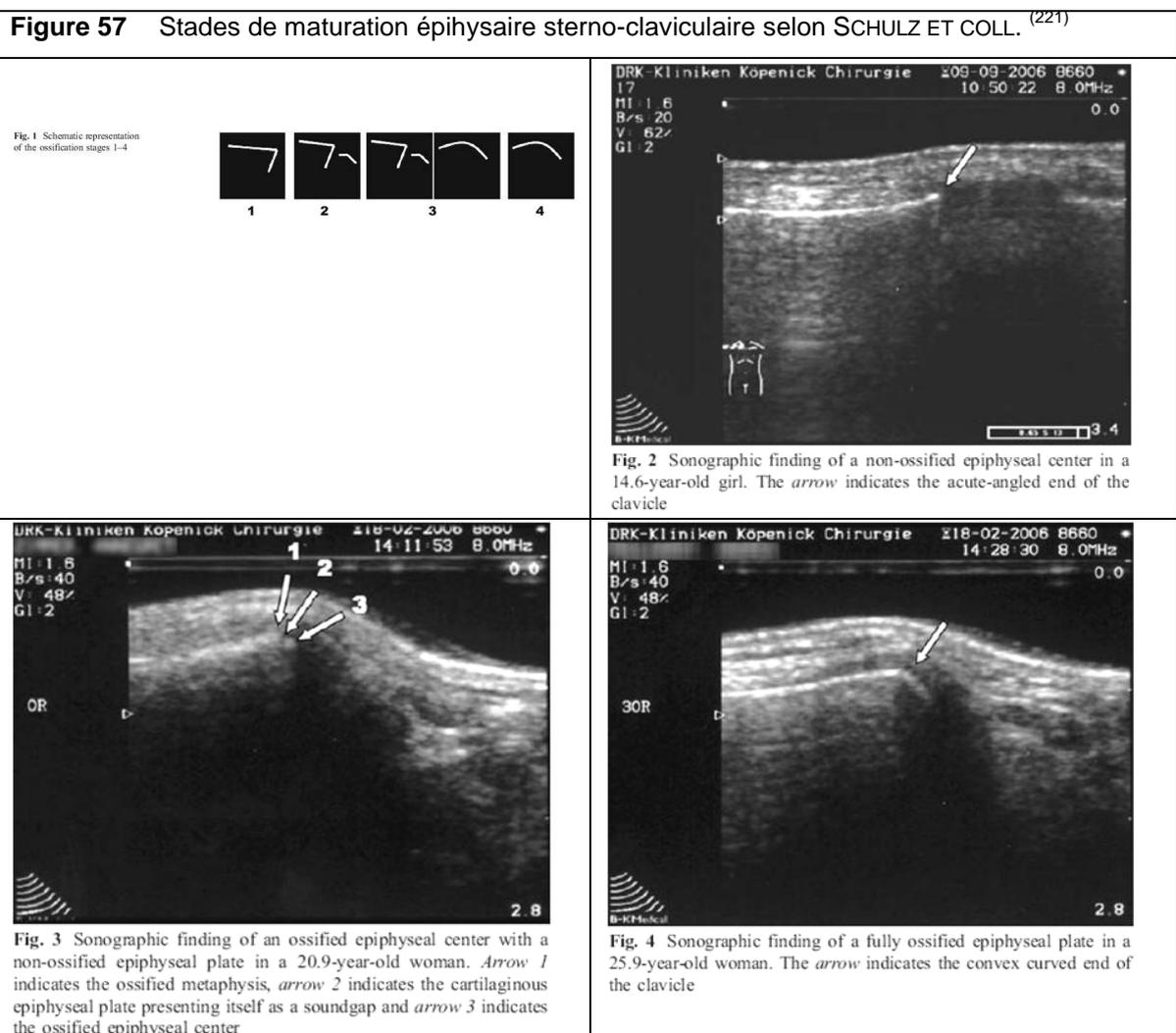


Fig. 5. Sonogram of the distal radial epiphysis with corresponding radiograph (bone age 15 years, actual age 14.5 years). The distal radial epiphysis is about to close, as is indicated by a diminished echo within the epiphyseal plate (arrowhead). Quantification of the epiphyseal gap requires a high-resolution scanning transducer

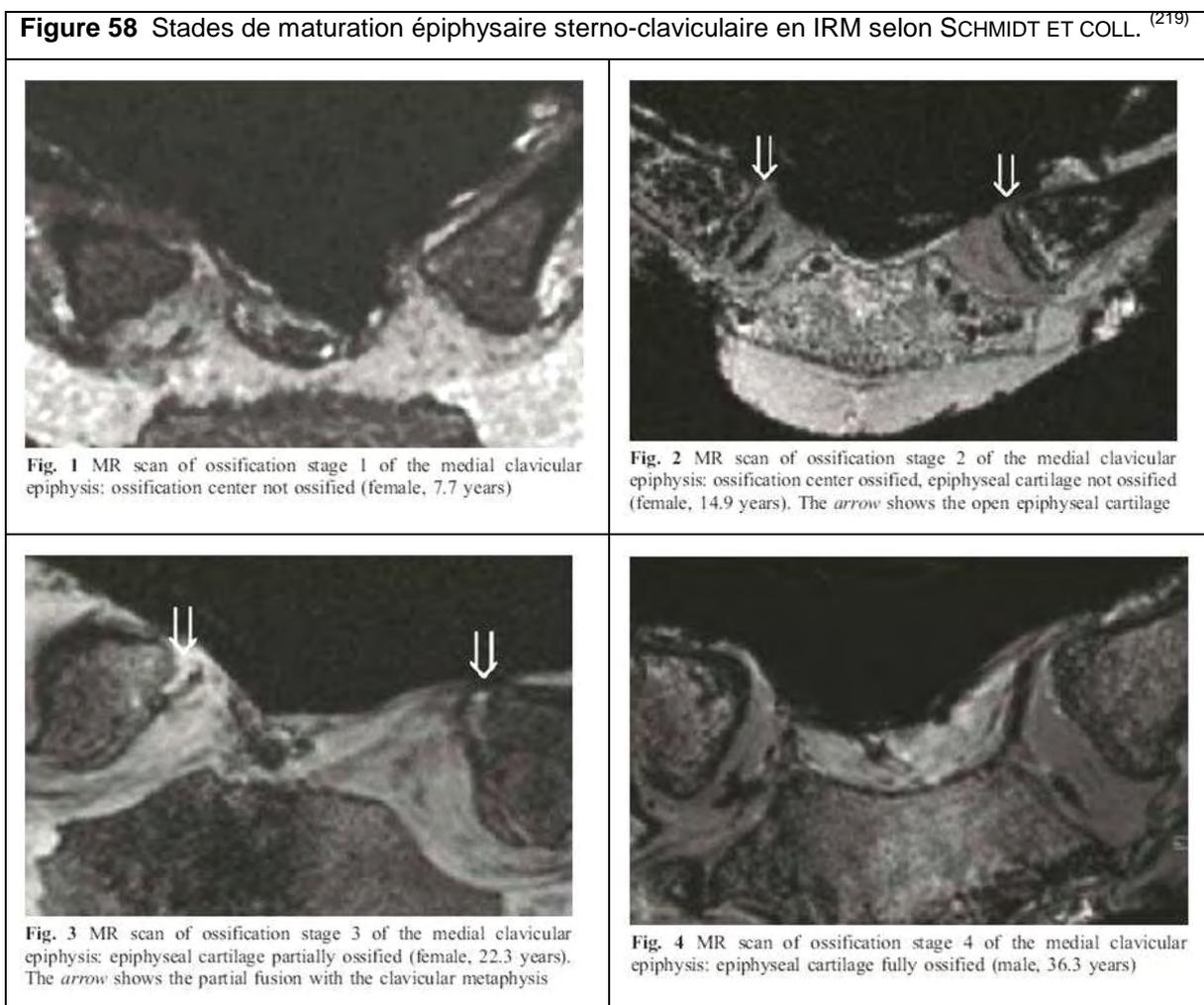
Ils trouvent une précision (estimée selon $P = (\text{nombre de vrai positif} + \text{nombre de vrai négatif}) / \text{nombre total de patients}$) d'environ 89% pour l'évaluation US de la crête iliaque et 94% pour la fermeture de l'épiphyse distale du radius. Cependant leur échantillon (28 cas pour le bassin et 36 pour le poignet, essentiellement composé de filles âgées entre 5 et 19 ans) est vraisemblablement trop petit pour pouvoir d'emblée généraliser ces résultats prometteurs.

Toujours dans l'utilisation de l'US pour évaluer le degré de maturation épiphysaire, SCHULZ ET COLL. ⁽²²¹⁾, mais au niveau de l'extrémité sternale de la clavicule (Fig. 57), ont comparé leurs résultats avec ceux obtenus par la radiographie standard et par la TDM. Pour eux le stade IV était visualisé uniquement à partir de 22,5 ans, soit une valeur s'approchant de celle obtenue avec la TDM (20 ans F, 21 ans M) mais les stades II et III étaient moins consistants. Ces auteurs relèvent que 5% des sujets des 84 cas de leur échantillon n'ont pu être analysés à cause de malformation développementale de la zone d'intérêt, et que la question de la reproductibilité de la méthode n'a pas été investiguée.



En conséquence, il semble prématuré d'utiliser une telle méthode, lorsque l'on sait que l'ultrasonographie est une technique dont la précision est hautement reliée à l'opérateur (positionnement de la sonde, interprétation de l'image dynamique) et que certains sous-groupes de l'échantillon ne comportent que un (F 19 ans) ou deux (F 18 ans) sujets.

A propos de l'évaluation de cette maturation épiphysaire de la clavicule, SCHMIDT ET COLL. ⁽²¹⁹⁾ ont testé l'applicabilité des 4 stades au moyen de l'IRM (Fig. 58). Sur 54 cas (des deux sexes et âgés de 6 à 40 ans), ils ont observé la première apparition du stade II à 15 ans, le stade III à 16,9 ans et le stade IV à 23,8 ans en moyenne, chiffres qui sont proches de ceux obtenus par radiographies ou TDM.



Cependant l'échantillon est très petit (surtout si l'on considère le nombre de cas par tranche d'âge), et composé de cadavres. Avant de pouvoir généraliser la méthode, il faudra déterminer la meilleure séquence d'acquisition adaptée au sujet vivant (acquisition qui peut durer plusieurs minutes et qui demande de la part du

sujet une immobilité totale, donc une bonne coopération) et valider les résultats sur un plus large échantillon de la population.

Enfin l'échographie peut aussi être utilisée comme technique innovante, sans avoir recours aux capacités de l'opérateur, si elle est utilisée de manière quantitative telle que le décrivent VIGNOLO ET COLL. ⁽²⁵⁵⁾. Ici c'est la vitesse de transmission du son (dépendant de l'amplitude et du temps de transmission osseux) qui est quantifiée au niveau des portions diaphysaires distales de la 1^{ère} phalange des 2^{ème} au 5^{ème} doigt. Ces auteurs ont pu trouver une corrélation entre différentes vitesses de transmission et certains stades de maturation selon TW mais ces derniers s'étalent sur une période de temps allant de plusieurs mois à plusieurs années et il n'est donc pas possible pour l'instant d'utiliser cette méthode pour évaluer l'âge.

Enfin, comme précédemment mentionné, s'il devait être fait appel à une technique d'imagerie multiplanare explorant les trois plans de l'espace pour l'évaluation de l'âge dentaire (technique quantitative, comme l'évaluation du volume pulpaire ou qualitative comme le degré de maturation des dents) le ConeBeam-CT* devrait être préféré à la TDM car le CBCT a été démontré, pour un résultat équivalent ou meilleur, comme étant moins irradiant que la TDM par OKANO ET COLL. ⁽¹⁷⁷⁾.

9.1.4 A propos de l'automatisation (moyens informatiques)

Dans l'approche informatisée de l'évaluation de l'âge on observe différentes techniques : celles qui requièrent toujours l'intervention humaine pour déterminer la zone d'intérêt – comme la méthode computerisée de Tanner ou le réseau neuronal de GROSS ET COLL. ⁽⁸⁰⁾; celles qui sont complètement automatisées – telles que la détection des phalanges selon MAHMOODI ET COLL. ⁽¹⁴⁹⁾, le réseau neuronal de RUCCI ET COLL. ⁽²⁰⁶⁾ ou encore l'extraction numérique par l'ordinateur des régions épiphysaires par PIETKA ET COLL. ⁽¹⁹⁰⁾.

Un des grands avantages attendus des méthodes automatisées est la diminution de la variabilité au niveau de l'observateur (intra- ou inter-) ⁽⁵⁰⁾. Ceci a été démontré par TANNER ET COLL. ⁽²⁴¹⁾ à l'aide de leur méthode TW-RUS semi-automatisée (différence d'assignation d'un stade entre deux mesures de deux observateurs dans 8% des évaluations versus 33% selon TW-RUS "manuelle") et aussi par RUCCI ET COLL. ⁽²⁰⁶⁾. Ces derniers, tout en reconnaissant, comme d'autres ⁽²⁴¹⁾, que l'évaluation par stade de la maturation (valeurs discrètes) ne correspond pas vraiment à la réalité (la croissance étant continue), utilisent pour leurs réseaux

neuronaux (un pour chacun des sept os du carpes retenus) la méthode TW2. L'objectif de leur travail a été de montrer qu'une méthode automatique type TW avec une phase de captation de l'image et une phase d'analyse de l'image, pour autant qu'elle soit efficace et reproductible, permet un gain de temps pour obtenir un résultat sans compétences particulières de l'observateur et donc avec une bonne reproductibilité (l'extraction de données et l'évaluation de l'âge étant réalisées automatiquement).

Ces auteurs notent l'intérêt de cette diminution de variation de résultats particulièrement en cas d'études longitudinales ou de suivi de patients.

GROSS ET COLL. ⁽⁸⁰⁾ ont aussi utilisé un réseau neuronal pour l'évaluation de l'âge, mais ils se sont basés sur les données de GP. Ils ont, eux aussi, trouvé que l'obtention de résultats est ainsi grandement accélérée et ne dépend pas du niveau de connaissance de l'observateur. Néanmoins, ils proposent que l'observateur valide le résultat obtenu en ayant lui même évalué l'âge "manuellement" à l'aide de l'atlas de GP.

Enfin, MAHMOODI ET COLL. ⁽¹⁴⁹⁾ ont réussi, à l'aide d'une approche par détection automatique des phalanges et analyse informatique de leur taille & forme (sur des radiographies palmaires numérisées) – et après assignation d'un âge en fonction de ces critères morphologiques à l'aide d'une étude statistique faisant appel au théorème de Bayes – à obtenir une prédiction correcte de l'âge pour 84% des filles et 82% des garçons de leur petit échantillon (25 F, 32 M).

9.2 À PROPOS DE LA MÉTHODE (ÉLÉMENTS STATISTIQUES)

Comme il a déjà été mentionné plus haut (soit aux chapitres 4, 5 et 8 concernant respectivement l'âge osseux, l'âge dentaire et les limites de ces techniques) l'analyse statistique elle-même joue un rôle prépondérant pour rendre plus précise une méthode. Ainsi ces analyses sont perfectibles comme le proposent CHAILLET ET COLL. ⁽⁴³⁾ en appliquant une régression* polynomiale aux scores de maturité pondérés de la méthode d'évaluation de l'âge dentaire selon DEMIRJIAN et en obtenant une meilleure précision de l'évaluation de l'âge pour une population finlandaise. La méthode originelle par percentile* sert plutôt à situer l'individu d'âge connu sur les courbes de croissances à des fins thérapeutiques (comme pour le traitement orthodontique par exemple). Un autre exemple d'adaptation

statistique de la méthode de DEMIRJIAN est celle effectuée par BRAGA ET COLL. ⁽²⁸⁾ au moyen d'une approche Bayésienne, apparemment mieux adaptée à des scores de maturité qui représentent des valeurs ordinales et non discrètes.

9.2.1 Amélioration de la puissance statistique (échantillon)

Tous les auteurs s'accordent à dire qu'une étude, pour être valable, doit comporter un nombre suffisant de sujets. Ainsi, PFAU & SCIULLI ⁽¹⁸⁹⁾ proposent que d'autres chercheurs étendent leur étude d'évaluation de l'âge (osseux sur longueurs diaphysaires des os longs + degré de fusion épiphyso.-diaphysaire & dentaire par maturation selon les 7 stades de Moorrees) en fonction de l'âge connu au décès d'enfants et adolescents dans les morgues du monde entier afin d'avoir localement des âges de référence selon le sexe et l'ethnie et cela de manière relativement aisée et peu coûteuse.

CAO ET COLL. ⁽³⁷⁾ proposent aussi d'augmenter localement l'échantillon de la population qui pourrait alors servir de référence et de mise à jour de la méthode GP avec comme avantage la possibilité de comparer des populations à niveau socio-économique, ethnicité, et autres facteurs identiques. Pour ce faire ils ont mis en ligne (réseau internet) un atlas GP qui contenait, lors de sa création, des données (1120 images radiologiques de poignet type) de filles et de garçons de 0 à 18 ans d'origine africaine, caucasoïde*, hispanique, asiatique, obtenues dans les années 1990 aux USA et ceci grâce à l'implémentation d'une base de données contenant des images au format DICOM dans un système PACS relié au web*, donc largement accessible.

9.2.2 Connaissance des limites d'une méthode & combinaison

L'article de MARTRILLE ET COLL. ⁽¹⁵⁴⁾ permet d'illustrer ce propos. Ces auteurs, en comparant, séparément et aussi entre elles, trois méthodes d'évaluation de l'âge osseux (aspect médial de la 4^{ème} côte selon IŞCAN; surface auriculaire de l'os iliaque selon LOVEJOY; aspect de la symphyse pubienne selon Suchey-Brooks) et une de l'âge dentaire (observation d'une dent monoradiculée selon LAMENDIN) au décès d'adultes d'origine caucasoïde* ou africaine, ont pu montrer que : l'aspect de la symphyse pubienne était la plus performante (de ces méthodes) pour la tranche d'âge 25-40 ans ; l'observation dentaire selon LAMENDIN approximait le mieux l'âge entre 41 et 60 ans ; aucune des méthodes n'évaluait correctement l'âge après 60 ans, la moins mauvaise étant celle d'IŞCAN.

Pour conclure, ces auteurs relèvent que l'évaluation de l'âge est d'autant plus performante qu'au préalable la classe d'âge du sujet défunt a été jaugée afin d'utiliser la méthode la plus pertinente pour la classe d'âge envisagée et donc que plusieurs techniques soient employées, comme le note également SCOLES ET COLL. ⁽²²³⁾ qui suggèrent d'y adjoindre l'observation des caractères sexuels secondaires chez l'adolescent.

9.3 APPRÉCIATION DE L'ÉVALUATION

9.3.1 A propos de l'examineur

Trivialement, l'expérience clinique et le degré de formation de l'examineur semblent être des éléments prépondérants pour une bonne évaluation de l'âge d'un individu, quand bien même, comme il a été vu plus haut (voir automatisation des techniques), certaines approches tendent à réduire ces exigences. Par exemple et pour l'odontologie légale, REPIEN ET COLL. ⁽¹⁹⁹⁾ ont relevé que l'âge au décès à l'aide de la seule évaluation clinique de l'état bucco-dentaire du sujet avait permis d'obtenir le même degré de précision que par les méthodes de Gustafson/Johanson et Bang/Ramm pour 7 examinateurs ayant été formés dans le même Institut de Médecine Légale.

Comme précédemment mentionné (voir chapitre 8), de nombreuses études ont été consacrées à l'appréciation du degré de variabilité d'une évaluation soit par le même examinateur à des moments différents, soit par plusieurs examinateurs. La majorité des auteurs s'accordent à dire qu'une calibration préalable des examinateurs à la méthode améliore la reproductibilité de l'évaluation ^(117, 131, 263). Ainsi LEVESQUE & DEMIRJIAN ⁽¹³¹⁾ proposent que l'examineur se forme à la lecture préalable de clichés radiologiques standard décrivant au mieux les différents stades de maturation des différents types de dents. De plus WILLEMS ET COLL. ⁽²⁶³⁾ proposent qu'en cas d'examineur unique, ce dernier, après calibration préalable, devra répéter plusieurs fois (p. ex. trois fois à plusieurs jours d'intervalle) l'évaluation pour vérifier son degré de reproductibilité avant de fournir le résultat définitif de l'estimation.

9.3.2 Qualité de l'évaluation

La qualité de l'évaluation de l'âge dépendra de la qualité des études de référence auxquelles on aura recours. A ce propos, SCHMELING ET COLL. ⁽²¹³⁾ notent que ces études, pour pouvoir être utilisées, devraient répondre aux requis suivant :

- au niveau de l'échantillon : avoir une taille suffisante, indiquer les dates d'examens, annoncer l'âge des sujets et la distribution des âges ainsi que le nombre de sous-groupes d'âge, subir une analyse différente selon le sexe;
- au niveau de la population de référence : annoncer les données génétiques (ethnies) et géographiques (niveau socio-économique, état nutritionnel et de santé);
- au niveau de l'étude : déclarer l'(les) objectif(s), décrire la méthode (statistique, technique, ...).

Enfin de nombreux auteurs ^(146, 213, 218, 233) s'accordent à dire que la marge d'erreur relative à l'âge estimé devrait être annoncée à la justice lors de l'expertise, soit pour une distribution normale de l'âge avec un intervalle de confiance à 95%, la valeur de ± 2 déviations standard. Pour SCHMIDT ET COLL. ⁽²¹⁸⁾, pour l'âge osseux, (GP) il faut annoncer, lors d'une procédure pénale, l'âge civil estimé avec +2 déviations standard de l'âge osseux afin de ne pas préteriter le sujet investigué : dans leur étude, un garçon se verra attribuer sûrement un âge chronologique de 14 ans si son âge osseux estimé est d'au moins 15,5 ans.

En ce qui concerne l'expertise, chez le sujet vivant, comme évoqué plus haut, plusieurs moyens doivent être mis en oeuvre pour établir l'âge du sujet investigué. Ces moyens, souvent cités par SCHMELING dans ses différents articles et accessibles sur le web* (<http://www.charite.de/rechtsmedizin/agfad/index.htm>), comportent un examen général physique (taille, poids, morphologie, caractères sexuels secondaires et maturité sexuelle, état de santé, maladies systémiques et hormonales), un examen radiologique (radiographie main & poignet, radiographie ou TDM des clavicules) et un examen dentaire (état clinique bucco-dentaire et éruption, radiographie généraliste OPT) qui ne sont pas forcément réalisés par le même investigateur. En conséquence chaque intervenant doit préalablement être formé pour de telles estimations. L'expert* qui recueille les estimations devrait finalement déclarer l'âge le plus probable, avec sa marge d'erreur et son taux de probabilité, dans son expertise ^(146, 213). De plus cet expert* devrait aussi, à

l'occasion de l'annonce du résultat, faire part des facteurs qui peuvent le faire varier :

- selon l'étude de référence utilisée pour l'estimation (différence d'avec l'origine socio-économique ou ethnique : dans ce dernier cas et pour l'os, SCHMIDT ET COLL. ⁽²¹⁸⁾ soulignent que l'ethnicité, regroupée en africaine, australienne, européenne, mongolique selon l'étude génétique de Cavalli-Sforza de 1994, ne joue pas de rôle dans la maturation osseuse alors que l'environnement socio-économique, lorsqu'il est moins élevé génère un retard de maturation avec estimation de l'âge du sujet plus jeune qu'il n'est, ce qui ne lui est pas défavorable pénalement);
- la présence d'une maladie affectant la croissance.

Pour conclure, il est intéressant de noter qu'au niveau dentaire SOLHEIM ET VONEN ⁽²³³⁾ rappellent les éléments essentiels relatifs à l'expertise pour la cour de justice selon les recommandations de l' "International Organisation for Forensic OdontoStomatology" (IOFOS recommandations, aussi accessibles en ligne : <http://www.odont.uio.no/foreninger/iofos/quality/general.htm>) qui logiquement sont de même type que celles citées par SCHMELING, à savoir :

1. estimer l'âge le plus probable d'un individu;
2. donner la référence à la méthode utilisée;
3. exprimer la vraisemblance de l'âge déclaré par l'individu;
4. exprimer la vraisemblance de l'âge estimé.

A cela, SOLHEIM ET VONEN ⁽²³³⁾ précisent qu'au point 2. le type d'analyse statistique doit être déclaré et d'ailleurs deux méthodes statistiques devraient être utilisées, et en plus l'évaluation devrait être réalisée par deux experts* en odontologie légale.

10 CONCLUSION

L'évaluation de l'âge d'une personne vivante ou décédée est de première importance dans un grand nombre de situations comme précédemment évoqué dans ce travail (chapitre 2). Pour ne citer qu'un exemple relatif à l'identification et à l'âge dentaire, on peut relever que 73% de 3'000 victimes du Tsunami de décembre 2004 (sur une estimation de 226'000 victimes) ont été identifiées par des équipes spécialisées, dont la Swiss Disaster Victim Identification ⁽¹⁸⁷⁾, et que les technologies actuelles, informatique et internet, ont permis, malgré un certain manque de standardisation au niveau mondial, de transmettre les données et d'identifier plus rapidement les victimes ^(47, 239). De nombreuses méthodes d'observation et d'appréciation statistique de l'âge civil en rapport à l'âge dentaire et/ou l'âge osseux ont été développées, mais aucune n'est capable de donner avec certitude l'âge exact d'un sujet investigué et c'est pourquoi, comme le relèvent NAMBIAR ET COLL. ⁽¹⁷⁰⁾, le médecin dentiste auquel il serait demandé de tenir le rôle d'expert* doit savoir conserver son indépendance scientifique face à une demande expressément orientée de la justice (que ce soit la défense ou l'accusation). A ce propos, VERMYLEN ⁽²⁵⁴⁾ note que l' "expert*" en question devrait pouvoir justifier de sa qualité devant le tribunal soit par ses études, soit par une formation postgraduée ou encore par une longue expérience clinique. En outre, ce même auteur ainsi que SOLHEIM & VONEN ⁽²³³⁾ proposent à juste titre de suivre les recommandations de l'IOFOS concernant l'évaluation de l'âge à partir des dents. RITZ-TIMME ET COLL. ⁽²⁰¹⁾ pensent aussi qu'aucune méthode ne possède un degré de précision tel qu'il soit possible d'affirmer avec certitude l'âge d'un sujet, et cela pour les diverses raisons invoquées plus haut (voir chap. 4 à 8, méthode statistique, maturation continue mais évaluée en stades discontinus, éléments montrant un différentiel de maturation selon la localisation anatomique, études pour la plupart réalisées sur des échantillon de population en bonne santé, ...) néanmoins, ils relèvent les méthodes utiles pour l'évaluation de cet âge en fonction de la situation spécifique en médecine légale (Tab. 28 et Annexe 2).

Tableau 28 Méthodes d'évaluation de l'âge recommandées par RITZE-TIMME ET COLL. ⁽²⁰¹⁾ en fonction de la situation médico-légale (les références bibliographique de cet article constituent l'Annexe 2 située au chapitre 11 du présent travail)

Methods		Recommended... for	in age ranges	SEE	r	Remarks	Literature
Table 1 Recommended methods for age determination in childhood and adolescence: situations and age ranges (in years [y]) in which they should be applied, published standard errors (SEE) and correlation coefficients (r) as indicators for the "accuracy" of the methods, critical remarks and relevant literature							
I. Radiological examination of dental development							
Ia. ...of all tooth types	Cadavers, human remains, historic and archaeological cases, living individuals	0–c.14y	± 0.5–1y	0.50–0.88	With increasing age less accurate. Sex and race influence the tooth development	13, 14, 27, 28, 29, 55, 71, 90, 95	
Ib. ...of the third molars	as Ia	c.14–21y	± 1–2.5y	0.32–0.85	as Ia	16, 44, 46, 54, 69, 104	
II. Radiological examination of skeletal development							
	Cadavers, human remains, historic and archaeological cases, living individuals	0–c.18y	± 0.5–2y	0.64–0.88	With increasing age less accurate. Sex, race and socio-economic environment influence the skeletal development	16, 22, 46, 57, 68, 77, 87, 102, 109	
Table 2A Recommended methods for age estimation in adults I (dental methods): situations and age ranges (in years [y]) in which they should be applied, published standard errors (SEE) and correlation coefficients (r) as indicators for the "accuracy" of the methods, critical remarks and relevant literature							
Methods		Recommended... for	in age ranges	SEE	r	Remarks	Literature
III. Evaluation of dental morphology including histological features							
IIIa. Combined methods (e.g. "Gustafson method" and its modifications)	Cadavers and human remains, living individuals (as far as an extracted tooth is available)	All ages with permanent teeth	± 5–12y	0.57–0.91	Influence of sex, race and socio-economic standards unclear. Doubts on applicability in historical cases	5, 25, 26, 52, 59, 61, 88, 93, 94, 110, 111	
IIIb. Methods based on cementum annulation	as IIIa, also on historical and archaeological cases	as IIIa	± 4–10y	0.78–0.93	With increasing age less accurate. Dental diseases influence results. Influence of sex, race and socio-economic standards unclear	10, 12, 24, 49, 56, 88, 96	
IV. Determination of aspartic acid racemization in dentine							
	Cadavers and human remains, living individuals (as far as an extracted tooth or a biopsy sample is available)	All ages with availability of teeth	± 1.5–4y	0.97–0.99	Should not be applied in burnt remains. In historical cases only applicable in cases with extreme low post-mortem temperatures. Influence of sex and race remains to be tested, albeit it is not to be expected	18, 31, 70, 73–76, 82, 83, 85, 88	

Table 2B Recommended methods for age estimation in adults II (skeletal methods): situations and age ranges (in years [y]) in which they should be applied, published standard errors (SEE) and correlation coefficients (r) as indicators for the “accuracy” of the methods, critical remarks and relevant literature						
Methods	Recommended...		SEE	r	Remarks	Literature
	for	in age ranges				
V. Evaluation of skeletal morphology						
Va. Macroscopic features ...						
...Pubic symphysis	Cadavers and human remains, historic and archaeological cases	< 40y	± 2–4y at best	0.85 at best	With increasing age less accurate. Sex, race and possibly socio-economic environment influence morphology as pubic symphysis	8, 19, 30, 38, 39, 64, 66, 92
...Ribs	as pubic symphysis	< 40y	similar to pubic symphysis			15, 35–37
Vb. Evaluation of bone histology	as Va	all ages	± 5–12y	0.69–0.90	Possible sex difference in histologic features should be considered. Influence of race unclear. Applicable to burnt remains	1, 6, 7, 17, 40, 41, 43, 97–101, 103, 106, 112
Vc. Multifactorial methods considering several features	as Va	all ages	c. ± 4.5y at best	0.72–0.9	as Va. and Vb., depending on included features, with increasing age less accurate	4, 58, 65, 89

Comme le soulignent ces auteurs, il est important de faire intervenir plusieurs spécialistes pour l'évaluation (médecin légiste, radiologue, pathologue, médecin dentiste, radiologue dento-maxillaire), spécialistes qui devraient être spécifiquement formés et qui devraient utiliser une ou plusieurs méthode(s) pour ensuite confronter leur résultats afin de diminuer la marge d'erreur de l'estimation et pouvoir énoncer l'âge le plus plausible du sujet en précisant quel degré de confiance.

En définitive, le présent travail, de type revue de la littérature, permet de montrer qu'il n'existe pas, à ce jour, de méthode permettant d'attribuer un âge exact à un sujet donné sur la base de son status dentaire et/ou osseux. La seule méthode retrouvée dans la littérature qui serait à même d'obtenir un tel résultat, décrite par THEVISSSEN ET COLL. ^(245, 246) en 2006, est artificielle et consiste en l'implantation d'une puce d'identification par radiofréquence (RFID, puce de type de celles utilisées en médecine vétérinaire) dans le sillon occlusal de la première molaire permanente, si possible dès l'âge de 6 ans. Bien que techniquement faisable, et se drapant de bonnes intentions (identification plus rapide et sans contestation possible d'une victime), ce genre de solution dépasse l'entendement éthique* : le geste est invasif (il faut réaliser une cavité dans une dent saine); il s'exerce sur une personne dont le jeune âge (dès 6 ans) ne semble pas compatible avec une

capacité de discernement suffisante (capacité estimée atteinte aux alentours de 12 ans en Europe); et probablement qu'il existera un jour des antennes permettant le questionnement des puces à des distances supérieures aux quelques centimètres actuel. Ce genre de méthode laisse présager un futur avec pistage systématique des individus, ce qui réduirait considérablement la notion de liberté inscrite dans les droits humains. D'autre part cette technique, contrairement à ce que pensent leurs auteurs, est loin d'être "totalement" sûre. En effet, en 1995 déjà dans son film "Twelve Monkeys" le cinéaste Terry Gilliam illustre l'extraction d'une des molaires de son héros, "James Cole" (incarné par l'acteur Bruce Willis), par lui-même afin de se soustraire à l'identification et au pistage systématique de ses mandants, des scientifiques (Annexe 3). Hormis cette intervention quelque peu radicale, on peut songer à l'extraction de la puce par fraisage chez un médecin-dentiste ou à la possibilité de son échange au même endroit, et l'on peut aussi se poser la question de l'effet de démagnétisation probable lorsque le sujet serait soumis à un champ magnétique intense, comme lors d'un examen en Imagerie par résonance magnétique (IRM) de l'extrémité céphalique (pour raison d'investigation neurologique, tumorale de l'extrémité cervico-maxillo-faciale).

En conclusion il est sans doute préférable de continuer à affiner les techniques actuelles, notamment en multipliant les recherches sur de larges échantillons, pour tendre vers une évaluation la plus précise possible de l'âge d'une personne plutôt que de sombrer dans les dérives sécuritaires (voir même potentiellement commerciales!) dont ont tendance à faire preuve les états occidentaux (dits démocratiques) depuis les attentats terroristes du 11 septembre 2001 (sur les tours jumelles du World Trade Center de Manhattan à New-York), comme par exemple pour la Suisse l'introduction du passeport biométrique avec puce RFID pour lequel le Conseil Fédéral se réserve le droit d'y incorporer n'importe quelle donnée personnelle, de tenir un fichier central de toutes ces données et d'étendre l'introduction de puce RFID à tout autre document d'identité!⁽¹⁴⁾

Au vu de ce qui a été décrit dans ce travail et comme le soulignent très bien BERNDT ET COLL.⁽¹⁹⁾, il ne faut pas perdre de vue qu'à ce jour, le(s) spécialiste(s) auquel (auxquels) on demande une expertise ne peut (peuvent) donner qu'une ESTIMATION* de l'âge du sujet et en aucun cas DETERMINER* cet âge comme le voudraient généralement les représentants de la justice.

Enfin on peut penser, comme HAZEBROUCQ ⁽⁹¹⁾, qu'il serait peut être préférable, quand bien même l'évaluation de l'âge chronologique pourrait être exacte, de ne pas utiliser cet âge civil qui ne correspond pas forcément à l'âge de développement mental : certains sont mûrs plus tôt, d'autres sont en retard. Ainsi devrait-on peut être développer d'autres outils, faisant appel aux neuro-sciences et à la neuro-imagerie par exemple pour évaluer l'âge de maturité mentale ce qui permettrait de jauger si le sujet est conscient de la portée de ses actes. Cela conviendrait mieux que de s'acharner à trouver une méthode ultra-précise pour déterminer* son âge chronologique. De toute façon les diverses limites d'âges fixées par la loi (Annexe 4) ne sont que plus ou moins objectives par rapport aux buts visés.

11 GLOSSAIRE – ABREVIATIONS – ANNEXES

abscisse	Coordonnée horizontale qui permet de déterminer, avec la coordonnée verticale (ordonnée) la position d'un point dans un plan (Le Petit Robert)
androgénique	Adjectif relatif aux substances hormonales mâles
ANOVA	ANalysis Of Variance. L' analyse de la variance est un test statistique permettant de vérifier que plusieurs échantillons sont issus d'une même population. Ce test s'applique lorsque que l'on mesure une ou plusieurs variables explicatives discrètes (appelées alors facteurs de variabilités , leurs différentes modalités étant appelées "niveaux") qui influencent la distribution d'une variable continue à expliquer. On parle d'analyse à un facteur (lorsque l'analyse porte sur un modèle décrit par un facteur de variabilité), d'analyse à deux facteurs ou d'analyse multifactorielle (http://fr.wikipedia.org/wiki/ANOVA)
apex	Partie sommitale d'un organe, mot latin signifiant "pointe" (Le Petit Robert) ; en médecine dentaire : extrémité de la racine d'une dent
ASA	Average Stage of Attrition, score moyen d'attrition* établi par Li en 1995
attrition	Erosion d'une surface (par exemple l'émail dentaire) par frottement (différent de l'abrasion : enlèvement par raclage)
biométrie	A l'origine, science statistique médicale
BMD	Bone Mineral Density, densité de minéralisation osseuse
BMI	Body Mass Index : Indice de Masse Corporelle (en français : IMC)
Bo	Pour Cameriere & coll. : aire totale de minéralisation épiphysaire radius + ulna
Ca	Pour Cameriere & coll. : aire totale des os du carpe
Captation	Voir le terme hypercaptant
caucasoïde	Se dit d'un être humain rattaché à un groupe dont la caractéristique la plus importante est la blancheur de la peau. (www.larousse.fr)
CBCT	Cone Beam Computed Tomography (aussi appelé Digital Volume Tomography)
CCD	Charge Coupled Device, système de capteur numérique composé d'une matrice de récepteurs individuels (pixel = picture element) recouvert d'un cristal qui transforme, en radiologie, l'énergie des rayons X en lumière, elle-même convertie par les récepteurs individuels en signal électrique. La décharge ligne par ligne des récepteurs de la matrice et la transformation conséquente des signaux électriques, après amplification externe au capteur, en valeurs numériques aboutit, après traitement logiciel, à la formation de l'image à l'écran
CMOS	Complementary Metal Oxyd Semiconductor, système de capteur numérique similaire au CCD à la différence que l'électronique d'amplification du signal électrique est implémentée sur chaque récepteur individuel. Donc à surface égale, le capteur CMOS possède une moins bonne résolution que le capteur CCD
Coffin-Siris	Syndrome nanisme-onychodysplasie. Affection congénitale atteignant des sujets des deux sexes, caractérisée par l'association de troubles du développement (retard de croissance), d'anomalies faciales (nez petit, épicanthus, philtrum proéminent, lèvres épaisses), d'une microcéphalie, d'une hypoplasie ou d'une aplasie des phalanges distales et des ongles correspondants des 4 derniers doigts et d'une aplasie de la phalangine du 5 ^{ème} doigt et d'une dysplasie ou d'une absence des

	ongles des orteils, d'une laxité ligamentaire (luxation du coude fréquente), d'une rotule peu développée. Infections respiratoires précoces fréquentes, hypotonie musculaire et retard mental profond. Etiologie imprécise (retard de croissance intra-utérin). Cas généralement sporadique, mais transmission autosomique récessive possible (Dictionnaire de Médecine Flammarion)
ConeBeam CT	Technique radiologique nouvelle (premiers appareils fabriqués à Vérone, en Italie vers 1996 par l'entreprise QR) dédiée à l'origine au domaine dentomaxillaire. L'acquisition de l'image se fait en 1 seule rotation autour de la tête du patient avec prise concomitante de plusieurs dizaines d'images (pour les meilleures machines, au moins 1 image par degré d'angle de la rotation avec irradiation pulsée afin de réduire la dose) sur le récepteur plan (pour les meilleures machines 1 écran TFT recouvert de silicone amorphe avec pixels de 0,08mm de côté; historiquement sur 1 tube amplificateur de brillance avec une moins bonne résolution). La somme des images recalées par leur milieu vertical permet l'obtention d'un volume cylindrique de données brutes qui, après calcul par l'ordinateur, permet de se déplacer à la fois dans les trois plans de l'espace au sein du cylindre (reconstruction & visualisation multiplanaire) ou d'y dessiner un plan courbe et de se déplacer perpendiculairement à ce dernier et dans le volume de l'examen (Curved MPR)
Corrélation Coefficient de	Rapport entre 2 phénomènes qui varient en fonction l'un de l'autre. (Le nouveau petit Robert) Indice statistique exprimant l'intensité de la relation (degré d'association / de dépendance) entre deux (éventuellement plusieurs) variables . Lorsque les deux variables (ou l'une au moins d'entre elles) sont (est) nominale(s) , on utilise des coefficients qui varient entre 0 (aucune relation) et 1 (relation parfaite). En revanche, si les variables sont ordinales ou quantitatives , on a recours à des coefficients dont la marge de variation est comprise entre - 1 et +1. Leur valeur sera positive si la relation est directe (croissante) et elle sera négative si la relation est inverse (décroissante), tandis qu'une valeur nulle exprime l'absence de relation (monotone ou linéaire) entre les variables en présence. Un cas particulièrement fréquent concerne l'étude de la <i>relation linéaire</i> entre deux <i>variables quantitatives</i> à l'aide du coefficient r* de Bravais-Pearson . Ce coefficient joue un rôle fondamental dans la théorie classique de la mesure : il est notamment utilisé pour évaluer certains aspects qui concernent la fidélité , la validité ou l' objectivité d'un dispositif d'évaluation ou de mesure. (http://fr.wikipedia.org)
CT	Computed Tomography, voir CT-scan
CT-scan	Computed Tomography- scanner. Technique radiologique qui consiste à acquérir, sur un récepteur linéaire (arqué en forme de couronne sur les scanner dit de 3 ^{ème} et 4 ^{ème} génération) le profil d'atténuation des rayons X à travers le corps du sujet par plusieurs rotations successives et jointives (1 ^{ère} et 2 ^{ème} génération) ou sous forme d'une hélice de la hauteur désirée (qui limite, dans le plan axial du sujet, le point le plus haut et le point le plus bas du volume d'examen) par translation du corps du sujet (sur un table mobile) au centre de rotation du système (Gantry : 2 couronnes de récepteurs linéaires entre lesquelles le foyer tourne de manière continue). Comme tout le corps du sujet doit être traversé pour que la qualité de l'examen soit exploitable, l'irradiation du sujet est conséquente.
CVMI	Cervical Vertebral Maturity Index
D	Deutsch, sujet germanique du tableau 16 de ce travail
DDS 18, 28, 38, 48	Dent De Sagesse, dans la nomenclature de la Fédération Dentaire Internationale, voir Annexe 1

décidual	adjectif provenant du latin, "qui tombe"
déclive	Qui indique le point le plus bas (d'un organe, d'une partie du corps, d'une lésion) (Le Petit Robert)
desmodontal, e	Qui a rapport au desmodonte, soit aux tissus de soutien de la dent
déterminer	Établir quelque chose, le définir avec suffisamment de précision au terme d'une recherche, d'une réflexion, d'une analyse ; préciser (www.larousse.fr) Préciser, fixer, circonscrire ce qui est incertain. Indiquer, faire apparaître quelque chose avec précision à l'aide d'une analyse, d'une mesure, d'une évaluation. Préciser, arrêter quelque chose en matière de droit. (http://www.cnrtl.fr/definition/determiner)
DFT	Decayed-Filled Teeth, (index de) dents cariées et/ou restaurées
DICOM	Digital Imaging and COmunication in Medicine, format standard d'images numériques et toutes autres données qui s'y rapportent (données administratives du patient, du lieu de l'examen, de l'examen lui-même, ...) permettant la lecture de ces images sur n'importe quel outil (matériel et logiciel) compatible à ce standard
dimorphisme	Caractéristique morphologique différente selon le sexe
distal	Postérieur en vocabulaire odontologique (face distale de la couronne : partie arrière de la couronne dentaire)
DMFT	Decayed-Missing-Filled Teeth, (index de) dents cariées et/ou restaurées ou absentes
dpi	Dot per inch (point par pouce, ppp en français). La trame de base constituant le nappage d'une image numérique , que ce soit en imprimerie ou en photographie numérique, est définie en nombre de points par pouce (ppp) ou, en anglais, <i>dots per inch</i> (dpi). Elle définit le nombre d'informations constituant une ligne d'un pouce, soit 2,54 cm. Ainsi, une résolution de 2 400 ppp signifie que l'image, noir et blanc, a une définition de 2 400 points, blancs ou noirs, sur une longueur de 2,54 cm. Le point, dès lors, mesure $25\,400 \mu\text{m} / 2\,400 = 10,583 \mu\text{m}$ qui sera le détail le plus petit de l'image (http://fr.wikipedia.org/wiki/Point_par_pouce)
DXA	Dual X-ray Absorptiometry, technique de minéralométrie évaluant la densité minérale osseuse (BMD dans ce travail)
émergence	Sortie d'un système, d'un liquide, d'un fluide, d'une onde, d'une particule (www.larousse.fr)
éruption	Eruption dentaire : apparition ET progression d'une dent JUSQU'À SA PLACE DEFINITIVE sur l'arcade dentaire (Le nouveau Petit Robert)
estimation	Évaluation approximative d'une quantité nombrable (notamment du chiffre d'une population, par référence à des données incomplètes prélevées sur des échantillons d'observation). (http://www.cnrtl.fr/definition/estimation)
éthique	<i>Terme de philosophie</i> : Science qui traite des principes régulateurs de l'action et de la conduite morale, comme par exemple la bioéthique (éthique médicale)
expert	Du latin <i>expertus</i> , "qui a éprouvé". Personne qui connaît très bien quelque chose par la pratique (www.larousse.fr)
F	Femme, féminin, fille
FC	Franco-Canadien, dans tableau 16 du présent travail
GH	Growth Hormone, hormone de croissance
GP	Greulich & Pyle, méthode d'évaluation de l'âge osseux en référence à des stades de maturité standard (atlas radiographique)

Havers, canal de	Canal situé au centre de l'ostéon (unité de base de l'os compact et formé d'une succession de lamelles concentriques) et contenant du tissu conjonctif et des capillaires sanguins
hypercaptant	Se dit, en médecine nucléaire, d'un foyer qui concentre la molécule radiopharmaceutique (le radiotraceur) et qui émet en conséquence des rayonnements (gamma). Ces foyers sont généralement fortement vascularisés comme dans le cas de foyers inflammatoires (p. ex. parodontite, en médecine dentaire) ou tumoraux (néo-vascularisation, métastases)
IC	<p>Intervalle de Confiance.</p> <p>En statistiques, et en particulier dans la théorie des sondages, lorsqu'on cherche à estimer la valeur d'un paramètre, on parle d'intervalle de confiance lorsque l'on donne un intervalle qui contient, avec un certain degré de confiance, la valeur à estimer. Le degré de confiance est en principe exprimé sous la forme d'une probabilité. Par exemple, un intervalle de confiance à 95% (ou au seuil de risque de 5%) a une probabilité égale à 0,95 de contenir la valeur du paramètre que l'on cherche à estimer. Ainsi, lorsqu'on effectue un sondage (tirage au hasard d'un sous-ensemble d'une population), l'estimation d'une quantité d'intérêt donnée est soumise au hasard et correspond rarement exactement à la valeur de la quantité que l'on cherche à estimer. En présentant pour l'estimation non pas une valeur mais un encadrement, on quantifie d'une certaine manière l'incertitude sur la valeur estimée.</p> <p>Plus l'intervalle de confiance est de taille petite, plus l'incertitude sur la valeur estimée est petite. L'un des objectifs de la théorie des sondages consiste à trouver des méthodes permettant de donner des intervalles de confiance de taille raisonnable.</p> <p>(http://fr.wikipedia.org/wiki/Niveau_de_confiance)</p>
incidence	En radiologie, direction du rayon central du faisceau de rayons X
IOFOS	International Organisation for Forensic Odontostomatology
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique, au début cette technique s'appelait Résonance Magnétique Nucléaire. Elle ne fait pas appel aux rayonnements ionisants. Le patient est soumis à un champ magnétique très intense (en clinique environ 1,5Tesla) pour aligner, en précession, tous ses protons H ⁺ dans ce champ. Ensuite une onde de radiofréquence est appliquée par exemple perpendiculairement au champ magnétique et les protons H ⁺ du patient "s'harmonisent" à ce nouveau champ (ils entrent en résonance avec l'onde de radiofréquence=bruit répétitif de la machine). A chaque fois que l'onde de radiofréquence s'arrête, les protons H ⁺ reviennent à leur mouvement de précession initial en émettant eux même plus ou moins rapidement un signal de fréquence faible (signal qui dure plus ou moins longtemps en fonction de la teneur en protons des différents tissus. Il est donc possible de différencier très exactement tous tissus contenant relativement suffisamment de proton : l'os cortical contient peu de protons H ⁺ et apparaît par défaut, souligné par les tissus avoisinants. Il en est de même pour le ménisque de l'articulation temporo-mandibulaire). Ensuite ces signaux sont captés par l'antenne de radiofréquence (qui sert à la fois d'émetteur et de récepteur) et transférés à l'ordinateur qui transformera ces données (numériques) de fréquence spatiale en densité.
M	Homme, masculin, garçon
maturation	Séquence de transformations morphologiques et physiologiques qui rendent un organe apte à assurer sa fonction (Le nouveau Petit Robert)
mCi	Milli Curie , ancienne unité de radioactivité remplacée par le Becquerel (Bq)
ménarche	Période d'apparition des premières règles chez la femme
mésial	Qui est devant en vocabulaire odontologique, la face mésiale d'une couronne est sa face antérieure

microtome	Couteau mécanique spécial permettant de réaliser des coupes microscopiques
mSv	Milli <u>Sievert</u> , unité de radioprotection caractérisant la Dose équivalente (Dose absorbée [en J/kg=Gy=Gray] x facteur de pondération selon la dangerosité du rayonnement [pour les rayons x, ce facteur=1]) et la Dose Efficace (Dose équivalente [en Sv] x Somme des facteurs de pondération tissulaire (dont la valeur est plus élevée si le tissu est plus radiosensible : tissu jeune, moins différencié à fort taux de renouvellement cellulaire)
nodosité	Formation circonscrite et dure. N de Bouchard = gonflement de l'articulation interphalangienne proximale, liée à une hypertrophie des épiphyses d'origine arthrosique et fréquemment associée aux n. d'Heberden=arthrose interphalangienne distale (Dictionnaire de Médecine Flammarion)
odontoblaste	Cellule d'origine mésenchymateuse résultant d'une différenciation des cellules de la papille dentaire, située au contact des adamantoblastes et qui sécrète la dentine (Dictionnaire de Médecine Flammarion)
OPT	OrthoPanTomographie. Technique radiologique permettant en 1 seule rotation partielle (généralement inférieure à 20s) d'obtenir sur un récepteur (aujourd'hui plan) rectangulaire (environ 15x30cm) une image déroulée du tiers inférieur et de la partie inférieure du tiers moyen de la face (soit au total de l'os hyoïde - en dessous du menton – jusqu'aux rebords orbitaires inférieurs) au moyen d'une tomographie courbe couplée à un radiographie par fente (système de double diaphragme). Seules les structures approximées par la zone de coupe de l'appareil donneront une image nette. Ainsi les arcades dentaires paraîtront nette uniquement en cas de positionnement exact de ces arcades (et non forcément l'aspect extérieur du viscéro-crâne du patient) au sein de l'appareil.
ordonnée	Deuxième coordonnée d'un point dans un repère cartésien. Dans la représentation d'un espace euclidien, l'ordonnée est mesurée sur l'axe vertical, l'abscisse* sur un axe horizontal (Le Petit Robert)
outliers	En statistique, sujets (ou observations) dont la valeur numérique se trouve à distance (en dehors) du reste des observations. Peut être dû au hasard, mais caractérise le plus souvent une erreur de la mesure ou une distribution non normale de la valeur étudiée au sein de l'échantillon
PA	Postéro-Antérieur. C'est une incidence souvent utilisée en radiologie conventionnelle, surtout si, au sein d'un volume donné, la structure à imager se situe antérieurement dans le volume (ainsi l'objet à radiographier est plus proche du récepteur et aura une représentation bidimensionnelle moins distordue [agrandie si le rayon central est orthogonal à l'objet et au film; agrandie et déformée en cas d'angulation différente de 90° entre le rayon central et l'objet et le récepteur])
PACS	Picture Archiving Communication System
palatin	Du côté du palais en vocabulaire odontologique, donc paramédian ou médian dans la bouche
paléo-démographie	Étude de la démographie des temps anciens
percentile	Terme de statistique. Synonyme de centile. Les percentiles sont les valeurs de la variable qui divisent la population ou la variable continue en 100 groupes égaux en nombre (1 % de la population) (http://www.cnrtl.fr/definition/percentile)
pic de croissance	Période durant laquelle l'augmentation en longueur d'une structure (sinus, taille corporelle, longueur d'un membre) est la plus rapide
r	Indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif ou négatif) de la <i>relation linéaire</i> entre deux <u>variables quantitatives</u> . Il assume des valeurs se situant dans l'intervalle qui va de - 1 à +1. Une valeur égale à - 1 ou à +1 indique l'existence d'une relation linéaire parfaite (fonctionnelle) entre les deux variables. En revanche, ce coefficient est nul (r = 0) lorsqu'il n'y a pas de relation

	<p>linéaire entre les variables (ce qui n'exclut pas l'existence d'une relation autre que linéaire: par exemple de forme "quadratique").</p> <p>L'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de - 1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.</p> <p>Par ailleurs, le coefficient est de signe positif si la relation est positive (directe, croissante) et de signe négatif si la relation est négative (inverse, décroissante). (http://fr.wikipedia.org)</p>
racémisation	<p>Transformation d'un composé optiquement actif en un composé racémique</p> <p>Racémique = Forme d'une substance composée d'un mélange moléculaire égal des deux inverses optiques. (http://www.cnrtl.fr/definition/racémisation)</p> <p>En l'occurrence la balance entre forme Lévogyre et Dextrogyre de l'acide aspartique contenu dans la dentine varie en fonction de l'âge</p>
radioluminescent	<p>Se dit des écrans radiologiques recouvert d'une couche de cristal dopé et capable de retenir l'énergie reçue des rayons X (les électrons essayant de retourner à leur couche initiale après avoir sauté sur une couche électronique plus périphérique sont comme "trappés" entre la bande de valence et la bande de conduction) et ensuite de la restituer (moyennant un apport d'énergie externe : lumière laser pour les écrans radioluminescent à mémoire de la radiologie intra- ou extra-buccale ou chaleur pour les dosimètre thermoluminescent) sous forme d'une émission de lumière (fluorescence, dont la longueur d'onde est connue et qui peut donc être captée par une caméra sensible à cette longueur d'onde. Ensuite il y a conversion du signal lumineux en électrique, puis électrique (analogique) en numérique et traitement possible par l'ordinateur)</p>
rayon	<p>Anatomiquement parlant : ensemble constitué, en ligne, d'un métacarpe et des phalanges qui lui font suite (ou d'un métatarse et des phalanges qui lui font suite)</p>
régressif	<p>Qui involue</p>
régression	<p>Statistique : Détermination de la grandeur approximative d'un phénomène correspondant à la grandeur certaine d'un autre phénomène (www.larousse.fr)</p>
RFID	<p>Radio Frequency IDentification</p>
RWT	<p>Roche-Wainer-Thissen, méthode d'évaluation de l'âge osseux basée sur la maturation des os du genou</p>
scintillation	<p>Une caméra à scintillation est un amplificateur de brillance : l'énergie des photons gamma sortant du patient (et provenant de la désintégration radioactive du radiotraceur Tc 99m) est transformée, dans la couche de cristal constituant la surface réceptrice de la caméra, en énergie lumineuse. Cette dernière est amplifiée dans un tube photomultiplicateur puis le signal lumineux est converti en signal numérique et transmis à l'ordinateur. Ce passage par une étape de transformation de l'énergie initiale en photons lumineux permet une grande amplification du signal initial (haute sensibilité de la caméra) mais au détriment de la précision (qui n'est d'ailleurs pas recherchée d'emblée en médecine nucléaire étant donné que l'on s'intéresse plus au métabolisme qu'à la morphologie. Cela dit, les techniques récentes comme le PET-CT permettent la fusion entre les images CT et les images de scintigraphies réalisées successivement sur la même machine)</p>
séculaire	<p>Qui date d'un ou plusieurs siècles. Dans la littérature médicale, trait caractéristique d'une époque ancienne (plusieurs dizaines d'années)</p>
SMI	<p>Skeletal Maturity Index, index de maturation osseuse</p>
SMS	<p>Skeletal Maturity Score, score de maturation osseuse (squelettique)</p>
SPSS	<p>Statistical Package for the Social Science, logiciel d'analyses statistiques</p>
statural, e / stature	<p>Qui a trait à la stature / Hauteur de la taille d'une personne</p>

stochastique	Se dit de phénomènes qui, partiellement, relèvent du hasard et qui font l'objet d'une analyse statistique (www.larousse.fr)
TCA	Tooth Cementum Annulation
TDM	TomoDensitoMétrie voir CT, CT-scan
TFT	Thin Film Transistor. Certains capteurs numériques radiologiques en sont constitués. La fine couche de transistor représente la matrice de pixels et elle est recouverte par une couche de silicone (ou de sélénium) amorphe. Cette dernière a la propriété de transformer directement l'énergie des rayons X là où cette énergie a été déposée dans le silicone en différence de potentiel électrique. Cette différence est captée par les transistors puis transmise à l'ordinateur sous forme de signal numérique (après passage dans un convertisseur analogique/numérique). L'avantage, en terme de précision, est de s'affranchir de l'étape qui consiste à transformer l'énergie des rayons X en lumière avec l'inévitable dispersion qui en découle comme dans les capteurs CCD ou CMOS (bien que ces derniers aient été améliorés pour canaliser la lumière entre la couche de scintillation et la couche de réception, soit par interposition de canaux de fibres optiques, soit par adjonction d'une couche d'un cristal supplémentaire jouant ce rôle)
TW	Tanner-Whitehouse, technique d'évaluation de l'âge osseux basée sur un score global de maturation des os du poignet et de la main
TW1	TW première version
TW2 ou II	TW deuxième version
TW-20	Tanner-Whitehouse 20 bones
TW2-B70	TW deuxième version adaptée sur un échantillon de population belge des années 1970
TW2-J90	TW deuxième version adaptée sur un échantillon de population japonais des années 1990
TW2-S80	TW deuxième version adaptée sur un échantillon de population espagnol des années 1980
TW2-UK60	TW deuxième version adaptée sur un échantillon de population britannique des années 1960
TW2-US90	TW deuxième version adaptée sur un échantillon de population américain des années 1990
TW3	TW troisième version
TW-RUS	Tanner-Whitehouse – Radius Ulna Short bones
US	UltraSonographie, technique d'imagerie aussi appelée échographie n'utilisant pas de rayonnements ionisants mais des rayons électromagnétiques de moins haute énergie (dans la gamme des ultra sons, supérieur à 20 MHz). Une sonde contenant des cristaux piezo-électriques, comprimés entre 2 masses métalliques, qui se mettent à vibrer et émettent des ultrasons. Ces derniers seront plus ou moins absorbés ou réfléchis selon la densité des tissus sur leurs parcours, ce qui formera un signal en écho (toujours de type ultrason) plus ou moins fort et qui revient en direction de la sonde servant alors de récepteur. En fonction de l'orientation de la sonde qui est directement appliquée contre la peau du patient (avec du gel comme interface) tous les plans de l'espace peuvent être investigués de manière dynamique
USA	United States of America
vestibulaire	Du côté latéral (extérieur) en vocabulaire odontologique, c'est-à-dire contre le vestibule buccal (du côté de la joue ou de la lèvre)
web	Ou WWW Abréviation de l'anglais World Wide Web , signifiant toile d'araignée mondiale (www.larousse.fr)

Annexe 1 Nomenclature de la Fédération Dentaire Internationale d'après l'excellent ouvrage de CAVÉZIAN ET COLL. ⁽⁴²⁾

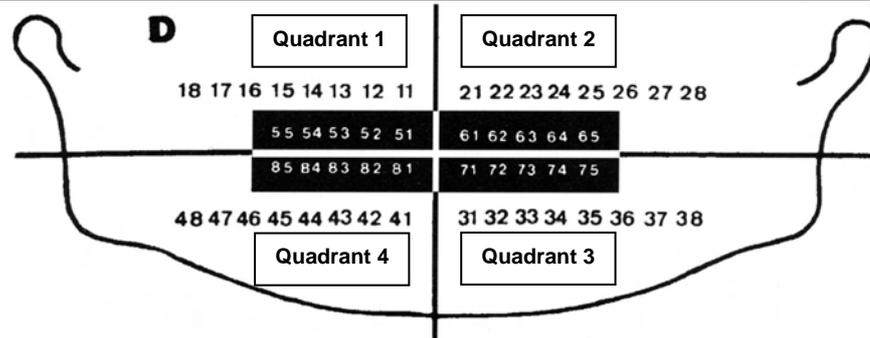


Fig. 5-15. – Nomenclature de la Fédération dentaire internationale.
 – En noir sur fond blanc : nomenclature des dents permanentes;
 – En blanc sur fond noir : nomenclature des dents déciduales.

Annexe 2 Références de l'article de RITZ-TIMME ET COLL. ⁽²⁰¹⁾

References

1. Ahlquist J, Damsten O (1969) A modification of Kerley's method for the microscopic determination of age in human bone. *J Forensic Sci* 14: 205–212
2. Alexandersen V, Noren G, Hoyer I, Dietz G, Johanssen G (1998) Aspects of teeth from archaeological sites in Sweden and Denmark. *Acta Odontol Scand* 56: 14–19
3. Aykroyd RG, Lucy D, Pollard AM, Solheim T (1997) Technical note: Regression analysis in adult age estimation. *Am J Phys Anthropol* 104: 259–265
4. Baccino E, Ubelaker DH, Hayek L-Ac, Terilli A (1999) Evaluation of seven methods of estimation age at death from mature skeletal remains. *J Forensic Sci* [in press]
5. Borrman H, Solheim T, Magnusson B, Kvaal SI, Stene-Johansen W (1995) Inter-examiner variation in the assessment of age-related factors in teeth. *Int J Legal Med* 107: 183–186
6. Bouvier M, Ubelaker DH (1977) A comparison of two methods for the microscopic determination of age at death. *Am J Phys Anthropol* 46: 391–394
7. Bradtmiller B, Buikstra JE (1984) Effects of burning on human bone microstructure: a preliminary study. *J Forensic Sci* 29: 535–540
8. Brooks ST (1955) Skeletal age at death: reliability of cranial and pubic age indicators. *Am J Phys Anthropol* 13: 567–597
9. Carolan VA, Gardner MLG, Lucy D, Pollard AM (1997) Some considerations regarding the use of amino acid racemization in human dentine as an indicator of age at death. *J Forensic Sci* 42: 10–16
10. Charles DK, Condon K, Cheverud JM, Buikstra J (1986) Cementum annulation and age determination in homo sapiens. I. Tooth variability and observer error. *Am J Phys Anthropol* 71: 311–320
11. Collins MJ, Waite ER, Van Duin ACT (1999) Predicting protein decomposition: the case of aspartic acid racemization kinetics. *Philos Trans R Soc Lond Biol Sci* [in press]
12. Condon K, Charles DK, Cheverud JM, Buikstra J (1986) Cementum annulation and age determination in homo sapiens. II. Estimates and accuracy. *Am J Phys Anthropol* 71: 321–330
13. Demirjian A, Goldstein H (1976) New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Ann Hum Biol* 3: 411–421
14. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973) A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 45: 211–227
15. Dudar JC, Pfeiffer S, Saunder SR (1993) Evaluation of morphological and histological adult skeletal age-at-death estimation techniques using ribs. *J Forensic Sci* 38: 677–685
16. Engström C, Engström H, Sagne S (1983) Lower third molar development in relation to skeletal maturity and chronological age. *Angle Orthod* 53: 97–106
17. Erickson MF (1991) Histologic estimation of age at death using the anterior cortex of the femur. *Am J Phys Anthropol* 84: 171–179
18. Fu S-J, Fan C-C, Song H-W, Wei F-Q (1995) Age estimation using a modified HPLC determination of ratio of aspartic acid in dentin. *Forensic Sci Int* 73: 35–40

19. Gilbert BM, McKern TW (1973) A method for aging the female os pubis. *Am J Phys Anthropol* 38: 31–38
20. Giles E, Klepinger LL (1988) Confidence intervals for estimates based on linear regression in forensic anthropology. *J Forensic Sci* 33: 1218–1222
21. Gillard RD, Pollard AM, Sutton PA (1990) An improved method for age at death determination from the measurement of D-aspartic acid in dental collagen. *Archaeometry* 32: 61–70
22. Greulich WW, Pyle SI (1959) Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist, 2nd edn. Stanford University Press, Stanford
23. Großkopf B (1989) Incremental lines in prehistoric cremated teeth: a technical note. *Z Morphol Anthropol* 77: 309–311
24. Großkopf B (1990) Individualaltersbestimmung mit Hilfe von Zuwachsringen im Zement bodengelagerter menschlicher Zähne. *Z Rechtsmed* 103: 351–359
25. Gustafson G (1950) Age determination on teeth. *J Am Dent Assoc* 41: 45–54
26. Gustafson G (1955) Altersbestimmungen an Zähnen. *Dtsch Zahnärztl Z* 10: 1763–1768
27. Gustafson G, Koch G (1974) Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odont Revy* 25: 297–306
28. Haavikko K (1974) Tooth formation age estimated on a few selected teeth. *Proc Finn Dent Soc* 70: 15–19
29. Hägg U, Matsson L (1985) Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods. *Eur J Orthod* 7: 25–34
30. Hanihara K, Suzuki T (1978) Estimation of age from the pubic symphysis by means of multiple regression analysis. *Am J Phys Anthropol* 48: 233–240
31. Helfman PM, Bada JL (1976) Aspartic acid racemization in dentine as a measure of ageing. *Nature* 262: 279–281
32. Hillson S (1996) Dental anthropology. Cambridge University Press, Cambridge
33. Houck MM, Ubelaker D, Owsley D, Craig E, Grant W, Fram R, Woltanski T, Sandness K (1996) The role of forensic anthropology in the recovery and analysis of branch davidian compound victims: assessing the accuracy of age estimations. *J Forensic Sci* 41: 796–801
34. Iscan MY, Loth SR (1989) Osteological manifestations of age in the adult. In: Iscan MY, Kennedy KAR (eds) Reconstruction of life from the skeleton. Wiley-Liss, New York, pp 23–40
35. Iscan MY, Loth SR, Wright RK (1984) Age estimation from the rib by phase analysis: white males. *J Forensic Sci* 29: 1094–1104
36. Iscan MY, Loth SR, Wright RK (1985) Age estimation from the rib by phase analysis: white females. *J Forensic Sci* 30: 853–863
37. Iscan MY, Loth SR, Wright RK (1987) Racial variation in the sternal extremity of the rib and its effect on age determination. *J Forensic Sci* 32: 452–466
38. Katz D, Suchey JM (1986) Age determination of the male os pubis. *Am J Phys Anthropol* 69: 427–435
39. Katz D, Suchey JM (1989) Race differences in pubic symphyseal aging patterns in the male. *Am J Phys Anthropol* 80: 167–172
40. Kerley ER (1965) The microscopic determination of age in human bone. *Am J Phys Anthropol* 23: 149–164
41. Kerley ER (1969) Age determination of bone fragments. *J Forensic Sci* 14: 59–67
42. Kerley ER (1970) Estimation of skeletal age: after about age 30. In: Stewart TD (ed) Personal identification in mass disasters. Smithsonian Institution, Washington DC, pp 57–70
43. Kerley ER, Ubelaker DH (1978) Revisions in the microscopic method of estimating age at death in human cortical bone. *Am J Phys Anthropol* 49: 545–546
44. Köhler S, Schmalzle R, Loitz C, Püschel K (1994) Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensaltersbestimmung. *Ann Anat* 176: 339–345
45. Konigsberg LW, Frankenberg SR (1992) Estimation of age structure in anthropological demography. *Am J Phys Anthropol* 89: 235–256
46. Kullman L (1995) Accuracy of two dental and one skeletal age estimation method in Swedish adolescents. *Forensic Sci Int* 75: 225–236
47. Kullman L, Tronje G, Teivens A, Lundholm A (1996) Methods of reducing observer variation in age estimation from panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 25: 173–178
48. Kvaal SI, Solheim T (1994) A non-destructive dental method for age estimation. *J Forensic Odontostomatol* 12: 6–11
49. Kvaal SI, Solheim T (1995) Incremental lines in human dental cementum in relation to age. *Eur J Oral Sci* 103: 225–230
50. Kvaal SI, Sellevold J, Solheim T (1994) A comparison of different non-destructive methods of age estimation in a skeletal material. *Int J Osteoarchaeol* 4: 363–370
51. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T (1995) Age estimation from adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int* 28: 175–185
52. Lamendin H, Baccino E, Humbert JF, Tavernier JC, Nossintchouk RM, Zerilli A (1992) A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method. *J Forensic Sci* 37: 1373–1379
53. Leopold D (1998) Identifikation unbekannter Toter. Interdisziplinäre Methodik. forensische Osteologie. In: Berg S, Brinkmann B (eds) Arbeitsmethoden der medizinischen und naturwissenschaftlichen Kriminalistik. Schmidt-Römhild, Lübeck, pp 163–195, 220–232, 301–319, 360–372
54. Levesque G-Y, Demirjian A, Tanguay R (1981) Sexual dimorphism in the development, emergence and agenesis of the mandibular third molar. *J Dent Res* 60: 1735–1741
55. Liliequist B, Lundberg M (1971) Skeletal and tooth development. A methodological investigation. *Acta Radiol* 11: 97–112
56. Lipsinic FE, Paunovich E, Houston GD, Robison SF (1986) Correlation of age and incremental lines in the cementum of human teeth. *J Forensic Sci* 31: 982–989
57. Loder RT, Estle DT, Morrison K, Eggleston D, Fish DN, Greenfield ML, Guire KE (1993) Applicability of the Greulich and Pyle skeletal age standards to black and white children of today. *Am J Dis Child* 147: 1329–1333
58. Lovejoy CO, Meindl RS, Mensforth RP, Barton TJ (1985) Multifactorial determination of skeletal age at death: a method and blind tests of its accuracy. *Am J Phys Anthropol* 68: 1–14
59. Lucy D, Pollard AM (1995) Further comments on the estimation of error associated with the Gustafson dental age estimation method. *J Forensic Sci* 40: 222–227
60. Man EH, Sandhouse ME, Burg J, Fisher GH (1983) Accumulation of D-aspartic acid with age in the human brain. *Science* 220: 1407–1408
61. Maples WR (1978) An improved technique using dental histology for estimation of adult age. *J Forensic Sci* 23: 764–770
62. Masters PM, Zimmerman MR (1978) Age determination of an Alaskan mummy: morphological and biochemical correlation. *Science* 201: 811–812
63. Masters PM, Bada JL, Zigler JS (1977) Aspartic acid racemization in the human lens during ageing and in cataract formation. *Nature* 268: 71–73
64. McKern TW, Steward TD (1957) Skeletal age changes in young American males. Technical report. E-P 45. Headquarters Quartermaster Res Develop, Command Natick/Mass
65. Meindl RS, Lovejoy CO, Mensforth RP (1983) Skeletal age at death: accuracy of determination and implications for human demography. *Hum Biol* 55: 73–87
66. Meindl RS, Lovejoy CO, Mensforth RP, Walker RA (1985) A revised method of age determination using the os pubis, with a review and tests of accuracy of other current methods of pubic symphyseal aging. *Am J Phys Anthropol* 68: 29–45
67. Meissner C, Von-Wunmb M, Oehmichen M (1997) Detection of the age-dependent 4977 bp deletion of mitochondrial DNA. A pilot study. *Int J Legal Med* 110: 288–291

68. Melsen B, Wenzel A, Miletic T, Andreasen J, Vagn-Hansen PL, Terp S (1986) Dental and skeletal maturity in adoptive children: assessments at arrival and after one year in the admitting country. *Ann Hum Biol* 13: 153-159
69. Mincer HH, Harris EF, Berryman HE (1993) The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci* 38: 379-390
70. Moinstad H, Pfeiffer H, Teivens A (1994) Estimation of dental age using HPLC-technique to determine the degree of aspartic acid racemization. *J Forensic Sci* 39: 1425-1431
71. Moinstad H, Staaf V, Welander U (1994) Age estimation with the aid of tooth development: a new method based on objective measurements. *Scand J Dent Res* 102: 137-143
72. Moinstad H, Reventlid M, Teivens A (1995) The validity of four methods for age determination by teeth in Swedish children: A multicentre study. *Swed Dent J* 19: 121-130
73. Ogino T, Ogino H, Nagy B (1985) Application of aspartic acid racemization to forensic odontology: postmortem designation of age at death. *Forensic Sci Int* 29: 259-267
74. Ohtani S (1995) Estimation of age from the teeth of unidentified corpses using the amino acid racemization method with reference to actual cases. *Am J Forensic Med Pathol* 16: 238-242
75. Ohtani S, Yamamoto K (1987) Age estimation using the racemization of aspartic acid in human dentin. *Nippon Hoigaku Zasshi*: 181-190
76. Ohtani S, Yamamoto K (1991) Age estimation using the racemization of amino acid in human dentin. *J Forensic Sci* 36: 792-800
77. Pfau RO, Sciuili PW (1994) A method for establishing the age of subadults. *J Forensic Sci* 39: 165-176
78. Pfeiffer H, Moinstad H, Teivens A (1995) Estimation of chronological age using the aspartic acid racemization method. I. On human rib cartilage. *Int J Legal Med* 108: 19-23
79. Powell JT, Vine N, Crossmann M (1992) On the accumulation of D-aspartate in elastin and other proteins of the ageing aorta. *Atherosclerosis* 97: 201-208
80. Ritz S, Kaatsch H-J (1996) Methoden der Altersbestimmung an lebenden Personen: Möglichkeiten, Grenzen, Zulässigkeit und ethische Vertretbarkeit. *Rechtsmedizin* 6: 171-176
81. Ritz S, Schütz HW (1993) Aspartic acid racemization in intervertebral disc as an aid to post mortem estimation of age at death. *J Forensic Sci* 38: 633-640
82. Ritz S, Schütz HW, Schwarzer B (1990) The extent of aspartic acid racemization in dentin: A possible method for a more accurate determination of age at death? *Z Rechtsmed* 103: 457-462
83. Ritz S, Schütz HW, Peper C (1993) Postmortem estimation of age at death based on aspartic acid racemization in dentin: its applicability for root dentin. *Int J Legal Med* 105: 289-293
84. Ritz S, Turzynski A, Schütz HW (1994) Estimation of age at death based on aspartic acid racemization in noncollagenous bone proteins. *Forensic Sci Int* 69: 149-159
85. Ritz S, Stock R, Schütz HW, Kaatsch H-J (1995) Age estimation in biopsy specimens of dentin. *Int J Legal Med* 108: 135-139
86. Ritz S, Turzynski A, Schütz HW, Hollmann A, Rochholz G (1996) Identification of osteocalcin as a permanent aging constituent of the bone matrix: basis for an accurate age at death determination. *Forensic Sci Int* 770:13-26
87. Roche AF, Chumlea C (1988) Assessing the skeletal maturity of the hand wrist: FELS method. Charles C Thomas, Springfield, Illinois
88. Rösing FW, Kvaal SI (1997) Dental age in adults. A review of estimation methods. In: Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M (eds) *Dental anthropology. Fundamentals, limits and prospects*. Springer, Wien New York, pp 443-468
89. Saunders SR, Fitzgerald C, Rogers TL, Dudar C, McKillop H (1992) A test of several methods of skeletal age estimation using a documented archaeological sample. *Can Soc Forensic Sci J* 25: 97-118
90. Saunders S, DeVito C, Herring A, Southern R, Hoppa R (1993) Accuracy tests of tooth formation age estimations for human skeletal remains. *Am J Phys Anthropol* 92: 173-188
91. Shapiro SD, Endicott SK, Province MA, Pierce JA, Campbell EJ (1991) Marked longevity of human lung parenchymal elastic fibers deduced from prevalence of D-aspartate and nuclear weapons-related radiocarbon. *J Clin Invest* 87: 1828-1834
92. Sinha A, Gupta V (1995) A study on estimation of age from pubic symphysis. *Forensic Sci Int* 75: 73-78
93. Solheim T (1993) A new method for dental age estimation in adults. *Forensic Sci Int* 59: 137-147
94. Solheim T, Sundnes PK (1980) Dental age estimation of norwegian adults - a comparison of different methods. *Forensic Sci Int* 16: 7-17
95. Staaf V, Moinstad H, Welander U (1991) Age estimation based on tooth development: a test of reliability and validity. *Scand J Dent Res* 99: 281-286
96. Stein TJ, Corcoran JF, Arbor A (1994) Pararadicular cementum deposition as criterion for age estimation in human beings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 77: 266-270
97. Stout SD (1986) The use of bone histomorphometry in skeletal identification: the case of Francisco Pizarro. *J Forensic Sci* 31: 296-300
98. Stout SD (1988) The use of histomorphology to estimate age. *J Forensic Sci* 33: 121-125
99. Stout SD, Gehlert SJ (1980) The relative accuracy and reliability of histological aging methods. *Forensic Sci Int* 15: 181-190
100. Stout SD, Paine RR (1992) Brief communication: histological age estimation using rib and clavicle. *Am J Phys Anthropol* 87: 111-115
101. Stout SD, Porro MA, Perotti B (1996) Brief communication: a test and a correction for the clavicle method of Stout and Paine for histological age estimation of skeletal remains. *Am J Phys Anthropol* 100: 139-142
102. Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N (1988) Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method). Academic Press, London New York San Francisco
103. Thompson DD, Galvin CA (1983) Estimation of age at death by tibial osteon remodeling in an autopsy series. *Forensic Sci Int* 22: 203-211
104. Thorson J, Hägg U (1991) The accuracy and precision of the third mandibular molar as an indicator of chronological age. *Swed Dent J* 15: 15-22
105. Ubelaker DH (1991) *Human skeletal remains*. Taraxacum press, Washington, pp 63-95
106. Uytterschaut HT (1985) Determination of skeletal age by histological methods. *Z Morphol Anthropol* 75: 331-340
107. Waite E, Collins M (1998) Response to paper by Ohtani S, Yamamoto Y, Yamamoto I. Age estimation from racemization rate using heated teeth. *J Forensic Odontostomatol* 15: 9-12
108. Whittaker DK (1990) The principles of forensic dentistry: 1. Identification procedures. *Dent Update* 17: 315-321
109. Workshop of European anthropologists (1980) Recommendations for age and sex diagnosis of skeletons. *J Hum Evol* 9: 517-549
110. Xiaohu XU, Philipsen HP, Jablonski NG, Pang KM, Jiazhen ZHU (1992) Age estimation from the structure of adult human teeth: review of the literature. *Forensic Sci Int* 54: 23-28
111. Xiaohu XU, Jiazhen ZHU, Philipsen HP, Pang KM (1994) Age estimation by chinese permanent teeth with image analysis. *Med Sci Law* 34: 284-289
112. Yoshino M, Imaizumi K, Miyasaka S, Seta S (1994) Histological estimation of age at death using microradiographs of humeral compact bone. *Forensic Sci Int* 64: 191-198
113. Zuhrt R, Geserick H (1996) Forensisch-odontologische Altersschätzung - eine kritische Bilanz unter besonderer Berücksichtigung der Wurzelentinttransparenz. *Rechtsmedizin* 7: 6-14

Annexe 3 Extrait du synopsis du Film "Twelve Monkeys" sur le site
<http://libresavoir.org>

... [James découvre sur les murs les graffitis des « Douze Singes ». Un volontaire désigné, comme lui, des temps futurs, le même qui l'avait appelé Bob et conseillé lors de sa tentative de fuite hors de l'hôpital psychiatrique, lui explique comment les Scientifiques le suivent à la trace : un mouchard est implanté dans une dent et il suffit de l'arracher. James refuse de croire qu'on puisse le surveiller puisqu'il accomplit sa Mission. [58mn30]]...[James se défait de lui (d'un souteneur) et s'arrache une dent, comme le lui avait conseillé Bob pour ne plus être repéré par les Savants. Ils parviennent à échapper à la police. [1h37mn]] ...

Annexe 4 Limites d'âges d'importance légale pour la France selon HAZEBROUCQ ⁽⁹¹⁾

– une peine majorée est prévue pour les adultes exploitant des enfants de **moins de 6 ans** pour quêter sur la voie publique ;

– un mineur de **moins de 10 ans** ne peut faire l'objet d'aucune garde à vue, ni de peine privative de liberté ;

– **de 10 à 13 ans**, la possibilité d'une garde à vue est limitée, la détention provisoire impossible et la répression se limite aux mesures de sanctions éducatives en centres médico-psychologiques ;

– **au-delà de 13 ans**, la garde à vue devient possible, réduite à 24 h avant 16 ans, ainsi que la détention provisoire ; des peines privatives de liberté peuvent être prononcées, en principe de la moitié de la peine infligée à un majeur dans les mêmes circonstances ;

– pour l'aggravation de la répression des violences sur les mineurs, l'âge critique est **15 ans** (carences de soins, provocation à l'usage de produits illicites, de commission de délits, agressions sexuelles...);

– l'âge de **16 ans** est également à prendre en compte, puisqu'en deçà, l'excuse de minorité est automatique, alors qu'elle devient ensuite facultative et fonction de la motivation de l'infraction.

– L'âge frontière symbolique de **18 ans** distingue évidemment les *mineurs* des *majeurs*, avec de nombreuses conséquences juridiques, au-delà de la seule responsabilité juridique individuelle.

– En outre, il est impossible de reconduire à la frontière un mineur étranger en séjour irrégulier et les majeurs étrangers **de 18 à 21 ans** en séjour irrégulier peuvent, dans certaines circonstances, bénéficier d'une assistance spécifique.

12 BIBLIOGRAPHIE

1. Aicardi G, Vignolo M, Milani S, Naselli A, Magliano P, Garzia P. Assessment of skeletal maturity of the hand-wrist and knee: A comparison among methods. *Am J Hum Biol.* 2000 Sep;12(5):610-615. PubMed PMID: 11534053
2. Ajmal M, Mody B, Kumar G. Age estimation using three established methods. A study on Indian population. *Forensic Sci Int.* 2001 Nov 1;122(2-3):150-4. PubMed PMID: 11672969
3. Akpata ES. Molar tooth attrition in a selected group of Nigerians. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1975 May;3(3):132-5. PubMed PMID: 1056818
4. Albanese A, Hall C, Stanhope R. The use of a computerized method of bone age assessment in clinical practice. *Horm Res.* 1995;44 Suppl 3:2-7. PubMed PMID: 8719433
5. Alberts B, Bray D, Lewis J, Raff M, Roberts K, Watson JD. Les tissus mous et la matrice rigide: croissance, renouvellement et réparation du tissu conjonctif squelettique. In: *Biologie moléculaire de la cellule.* 1ère ed. Médecine-Science Flammarion, Paris 1986: 933-8
6. Altini M. Age determination from the teeth - a review. *J Dent Assoc S Afr.* 1983 May;38(5):275-9. Review. PubMed PMID: 6356483
7. AP. Les os ne prouvent pas l'âge – Asile, une décision de l'ODR corrigée. *Tribune de Genève* du 27.09.2000: 13
8. Arnaud B. Etat civil. In *Histoire des choses de la vie quotidienne d'hier à aujourd'hui.* Ed France Loisirs. Paris 2002: 128
9. Ashizawa K, Asami T, Anzo M, Matsuo N, Matsuoka H, Murata M, Ohtsuki F, Satoh M, Tanaka T, Tatara H, Tsukagoshi K. Standard RUS skeletal maturation of Tokyo children. *Ann Hum Biol.* 1996 Nov-Dec;23(6):457-69. PubMed PMID: 8933912
10. Attallah NL, Marshall WA. Estimation of chronological age from different body segments in boys and girls aged 4-19 years, using anthropometric and photogrammetric techniques. *Med Sci Law.* 1989 Apr;29(2):147-55. PubMed PMID: 2747476
11. Aykroyd RG, Lucy D, Pollard AM, Solheim T. Technical note: regression analysis in adult age estimation. *Am J Phys Anthropol.* 1997 Oct;104(2):259-65. PubMed PMID: 9386831
12. Azrak B, Victor A, Willershausen B, Pistorius A, Hörr C, Gleissner C. Usefulness of combining clinical and radiological dental findings for a more accurate noninvasive age estimation. *J Forensic Sci.* 2007 Jan;52(1):146-50. PubMed PMID: 17209927
13. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. The cervical vertebral maturation method: some need for clarification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Jan;123(1):19A-20A. PubMed PMID: 12539770
14. Bach P. Passeport biométrique : le nouveau joujou de l'état Big Brother. *Le Courrier* du 13.05.2009

15. Banerjee KK, Agarwal BB. Estimation of age from epiphyseal union at the wrist and ankle joints in the capital city of India. *Forensic Sci Int.* 1998 Nov 30;98(1-2):31-9. PubMed PMID: 10036757
16. Baughan B, Demirjian A, Levesque GY. Skeletal maturity standards for French-Canadian children of school-age with a discussion of the reliability and validity of such measures. *Hum Biol.* 1979 Sep;51(3):353-70. PubMed PMID: 230144
17. Belkin V, Livshits G, Otremski I, Kobylansky E. Aging bone score and climatic factors. *Am J Phys Anthropol.* 1998 Jul;106(3):349-59. PubMed PMID: 9696150
18. Benso L, Vannelli S, Pastorin L, Angius P, Milani S. Main problems associated with bone age and maturity evaluation. *Horm Res.* 1996;45 Suppl 2:42-8. PubMed PMID: 8805043
19. Berndt DC, Despotovic T, Mund MT, Filippi A. Rôle actuel de la médecine dentaire légale dans l'évaluation de l'âge. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 2008;118(11):1073-88. PubMed PMID: 19066157
20. Berst MJ, Dolan L, Bogdanowicz MM, Stevens MA, Chow S, Brandser EA. Effect of knowledge of chronologic age on the variability of pediatric bone age determined using the Greulich and Pyle standards. *AJR Am J Roentgenol.* 2001 Feb;176(2):507-10. PubMed PMID: 11159105
21. Beunen G, Lefevre J, Ostyn M, Renson R, Simons J, Van Gerven D. Skeletal maturity in Belgian youths assessed by the Tanner-Whitehouse method (TW2). *Ann Hum Biol.* 1990 Sep-Oct;17(5):355-76. PubMed PMID: 2260839
22. Beunen G, Ostyn M, Renson R, Simons J, VanGerven D. Patterns of TW-1 and TW-2 skeletal age differences in 12-19-year-old Belgian boys. *Ann Hum Biol.* 1983 Sep-Oct;10(5):479-82. PubMed PMID: 6638943
23. Bhat VJ, Kamath GP. Age estimation from root development of mandibular third molars in comparison with skeletal age of wrist joint. *Am J Forensic Med Pathol.* 2007 Sep;28(3):238-41. PubMed PMID: 17721176
24. Biggerstaff RH. Forensic dentistry and the assessment of skeletal age using hand-wrist film standards. *Dent Clin North Am.* 1977 Jan;21(1):159-66. PubMed PMID: 188695
25. Borrman H, Solheim T, Magnusson B, Kvaal SI, Stene-Johansen W. Inter-examiner variation in the assessment of age-related factors in teeth. *Int J Legal Med.* 1995;107(4):183-6. PubMed PMID: 7599093
26. Bourquin V. Recherche médecin pour tests osseux sur réfugiés. Le radiologue qui effectuait des tests afin de fixer l'âge des requérants a renoncé. *Tribune de Genève* du 05.07.2004: 7
27. Bowden BD. Epiphysial changes in the hand/wrist area as indicators of adolescent stage. *Aust Orthod J.* 1976 Feb;4(3):87-104. PubMed PMID: 182113
28. Braga J, Heuze Y, Chabadel O, Sonan NK, Gueramy A. Non-adult dental age assessment: correspondence analysis and linear regression versus Bayesian predictions. *Int J Legal Med.* 2005 Sep;119(5):260-74. Epub 2004 Dec 8. PubMed PMID: 15592678

29. Brauner R, Rappaport R. Retards pubertaires simples du garçon. *Arch Fr Pediatr*. 1992 Apr;49 Suppl 1:281-2. PubMed PMID: 1449379
30. Bull RK, Edwards PD, Kemp PM, Fry S, Hughes IA. Bone age assessment: a large scale comparison of the Greulich and Pyle, and Tanner and Whitehouse (TW2) methods. *Arch Dis Child*. 1999 Aug;81(2):172-3. PubMed PMID: 10490531; PubMed Central PMCID: PMC1718009
31. Burns KR, Maples WR. Estimation of age from individual adult teeth. *J Forensic Sci*. 1976 Apr;21(2):343-56. PubMed PMID: 1262832
32. Cameriere R, Ferrante L. Age estimation in children by measurement of carpals and epiphyses of radius and ulna and open apices in teeth: a pilot study. *Forensic Sci Int*. 2008 Jan 15;174(1):60-3. Epub 2007 May 2. PubMed PMID: 17478067
33. Cameriere R, Ferrante L, Belcastro MG, Bonfiglioli B, Rastelli E, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in canines by peri-apical X-rays. *J Forensic Sci*. 2007 Jan;52(1):166-70. PubMed PMID: 17209930
34. Cameriere R, Ferrante L, Belcastro MG, Bonfiglioli B, Rastelli E, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in canines by mesial and vestibular peri-apical X-rays. *J Forensic Sci*. 2007 Sep;52(5):1151-5. Epub 2007 Aug 6. PubMed PMID: 17680998
35. Cameriere R, Ferrante L, Ermenc B, Mirtella D, Strus K. Age estimation using carpals: study of a Slovenian sample to test Cameriere's method. *Forensic Sci Int*. 2008 Jan 30;174(2-3):178-81. Epub 2007 May 23. PubMed PMID: 17524582
36. Cameriere R, Ferrante L, Mirtella D, Cingolani M. Carpals and epiphyses of radius and ulna as age indicators. *Int J Legal Med*. 2006 May;120(3):143-6. Epub 2005 Oct 7. PubMed PMID: 16211419
37. Cao F, Huang HK, Pietka E, Gilsanz V. Digital hand atlas and web-based bone age assessment: system design and implementation. *Comput Med Imaging Graph*. 2000 Sep-Oct;24(5):297-307. PubMed PMID: 10940607
38. Carels CE, Kuijpers-Jagtman AM, van der Linden FP, Van't Hof MA. Age reference charts of tooth length in Dutch children. *J Biol Buccale*. 1991 Dec;19(4):297-303. PubMed PMID: 1791167
39. Castriota-Scanderbeg A, De Micheli V. Ultrasound of femoral head cartilage: a new method of assessing bone age. *Skeletal Radiol*. 1995 Apr;24(3):197-200. PubMed PMID: 7541917
40. Castriota-Scanderbeg A, De Micheli V, Scarale MG, Bonetti MG, Cammisa M. Precision of sonographic measurement of articular cartilage: inter- and intraobserver analysis. *Skeletal Radiol*. 1996 Aug;25(6):545-9. PubMed PMID: 8865488
41. Castriota-Scanderbeg A, Sacco MC, Emberti-Gialloreti L, Fraracci L. Skeletal age assessment in children and young adults: comparison between a newly developed sonographic method and conventional methods. *Skeletal Radiol*. 1998 May;27(5):271-7. PubMed PMID: 9638838
42. Cavézian R, Pasquet G, Bel G, Baller G. *Imagerie dento-maxillaire – Approche radio-clinique*. 2^e ed. Masson, Paris 2001

43. Chaillet N, Nyström M, Kataja M, Demirjian A. Dental maturity curves in Finnish children: Demirjian's method revisited and polynomial functions for age estimation. *J Forensic Sci.* 2004 Nov;49(6):1324-31. PubMed PMID: 15568707
44. Charlet G. Age dentaire, âge osseux. *Rev Odontostomatol (Paris).* 1984 Jan-Feb;13(1):19-31. PubMed PMID: 6585877
45. Chaumoître K, Adalian P, Colavolpe N, Ramis O, Marciano S, Leonetti G, Boëtsch G, Panuel M. Quelle valeur accorder à l'os sésamoïde du pouce dans la détermination de l'âge osseux. *J Radiol.* 2008 Dec;89(12):1921-4. PubMed PMID: 19106849
46. Chertkow S. Tooth mineralization as an indicator of the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1980 Jan;77(1):79-91. PubMed PMID: 6928087
47. Clement JG, Winship V, Ceddia J, Al-Amad S, Morales A, Hill AJ. New software for computer-assisted dental-data matching in Disaster Victim Identification and long-term missing persons investigations: "DAVID Web". *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S24-9. Epub 2006 Mar 24. PubMed PMID: 16563679
48. Clow IM. A radiographic survey of third molar development: a comparison. *Br J Orthod.* 1984 Jan;11(1):9-15. PubMed PMID: 6584178
49. Coutinho S, Buschang PH, Miranda F. Relationships between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993 Sep;104(3):262-8. PubMed PMID: 8362788
50. Cox LA. Tanner-Whitehouse method of assessing skeletal maturity: problems and common errors. *Horm Res.* 1996;45 Suppl 2:53-5. Review. PubMed PMID: 8805045
51. Crossner CG, Mansfeld L. Determination of dental age in adopted non-European children. *Swed Dent J.* 1983;7(1):1-10. PubMed PMID: 6574609
52. Davidson LE, Rodd HD. Interrelationship between dental age and chronological age in Somali children. *Community Dent Health.* 2001 Mar;18(1):27-30. PubMed PMID: 11421401
53. Dedouit F, Bindel S, Gainza D, Blanc A, Joffre F, Rougé D, Telmon N. Application of the Iscan method to two- and three-dimensional imaging of the sternal end of the right fourth rib. *J Forensic Sci.* 2008 Mar;53(2):288-95. Epub 2008 Feb 14. PubMed PMID: 18284532
54. Demirjian A. Dentition. In: *Human growth*, vol 2. Falkner F, Tanner JM eds. Plenum Press, New-York, London, 1978; 413-444
55. Demirjian A, Buschang PH, Tanguay R, Patterson DK. Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am J Orthod.* 1985 Nov;88(5):433-8. PubMed PMID: 3864376
56. Demirjian A, Goldstein H. New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Ann Hum Biol.* 1976 Sep;3(5):411-21. PubMed PMID: 984727
57. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol.* 1973 May;45(2):211-27. PubMed PMID: 4714564

58. Demirjian A, Levesque GY. Sexual differences in dental development and prediction of emergence. *J Dent Res.* 1980 Jul;59(7):1110-22. PubMed PMID: 6966636
59. Dhanjal KS, Bhardwaj MK, Liversidge HM. Reproducibility of radiographic stage assessment of third molars. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S74-7. Epub 2006 Mar 10. PubMed PMID: 16530998
60. DiGangi EA, Bethard JD, Kimmerle EH, Konigsberg LW. A new method for estimating age-at-death from the first rib. *Am J Phys Anthropol.* 2009 Feb;138(2):164-76. PubMed PMID: 18711740
61. Domken O, Jamoul C, Piette P, Legrand R. Comment j'explore...l'âge de l'adolescent au moyen de radiographies panoramiques. *Rev Med Liege.* 1998 Oct;53(10):633-7. PubMed PMID: 9857759
62. Dorandeu A, Coulibaly B, Piercecchi-Marti MD, Bartoli C, Gaudart J, Baccino E, Leonetti G. Age-at-death estimation based on the study of frontosphenoidal sutures. *Forensic Sci Int.* 2008 May 2;177(1):47-51. Epub 2008 Jan 8. PubMed PMID: 18191929
63. Dorion RB. Factors in the identification of human skeletal remains. *J Can Dent Assoc (Tor).* 1973 Sep;39(9):626-9. PubMed PMID: 4353876
64. Drews U. Développement humain 12^e SA: squelette cartilagineux et centres d'ossification. In: *Atlas de poche d'embryologie.* 1^{ère} ed. Médecine-Science Flammarion 1994: 110-1
65. Drusini AG, Toso O, Ranzato C. The coronal pulp cavity index: a biomarker for age determination in human adults. *Am J Phys Anthropol.* 1997 Jul;103(3):353-63. PubMed PMID: 9261498
66. Eid RM, Simi R, Friggi MN, Fisberg M. Assessment of dental maturity of Brazilian children aged 6 to 14 years using Demirjian's method. *Int J Paediatr Dent.* 2002 Nov;12(6):423-8. PubMed PMID: 12452984
67. Engström C, Engström H, Sagne S. Lower third molar development in relation to skeletal maturity and chronological age. *Angle Orthod.* 1983 Apr;53(2):97-106. PubMed PMID: 6576657
- 68z. Faruch Bilfeld M, Dedouit F, Soumah M, Cartegnie S, Joffre F, Rousseau H, Rougé D, Telmon N. [Value of radiographic evaluation of the second metacarpal in the determination of bone age]. *J Radiol.* 2008 Dec;89(12):1930-4. French. PubMed PMID: 19106851
- 69z. Foti B, Adalian P, Signoli M, Ardagna Y, Dutour O, Leonetti G. Limits of the Lamendin method in age determination. *Forensic Sci Int.* 2001 Nov;122(2-3):101-6. PubMed PMID: 11672963
70. Francoual C, Guyot F. Sémiologie pédiatrique – Développement somatique. In: *Sémiologie médicale – Initiation à la physiopathologie.* 3^{ème} ed. Sandoz, Paris 1992: 456-460
71. Frisch H, Riedl S, Waldhör T. Computer-aided estimation of skeletal age and comparison with bone age evaluations by the method of Greulich-Pyle and Tanner-Whitehouse. *Pediatr Radiol.* 1996;26(3):226-31. PubMed PMID: 8599016

72. Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-Mönting J, Rose E, Jonas I. Dental age in southwest Germany. A radiographic study. *J Orofac Orthop.* 2000;61(5):318-29. Erratum in: *J Orofac Orthop* 2000;61(6):450. PubMed PMID: 11037684
73. Gambini DJ, Granier R. Manuel pratique de radioprotection. 2^{ème} ed. Tec&Doc Lavoisier, Paris 1997
74. Garamendi PM, Landa MI, Ballesteros J, Solano MA. Reliability of the methods applied to assess age minority in living subjects around 18 years old. A survey on a Moroccan origin population. *Forensic Sci Int.* 2005 Nov 10;154(1):3-12. Epub 2004 Nov 10. PubMed PMID: 16182943
75. García-Fernandez P, Torre H, Flores L, Rea J. The cervical vertebrae as maturational indicators. *J Clin Orthod.* 1998 Apr;32(4):221-5. PubMed PMID: 9709621
76. Gilli G. The assessment of skeletal maturation. *Horm Res.* 1996;45 Suppl 2:49-52. Review. PubMed PMID: 8805044
77. González-Colmenares G, Botella-López MC, Moreno-Rueda G, Fernández-Cardenete JR. Age estimation by a dental method: a comparison of Lamendin's and Prince & Ubelaker's technique. *J Forensic Sci.* 2007 Sep;52(5):1156-60. Epub 2007 Jul 21. PubMed PMID: 17645490
78. Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. 2nd ed. Stanford University Press, Stanford USA 1959
79. Groell R, Lindbichler F, Riepl T, Gherra L, Roposch A, Fötter R. The reliability of bone age determination in central European children using the Greulich and Pyle method. *Br J Radiol.* 1999 May;72(857):461-4. PubMed PMID: 10505010
80. Gross GW, Boone JM, Bishop DM. Pediatric skeletal age: determination with neural networks. *Radiology.* 1995 Jun;195(3):689-95. PubMed PMID: 7753995
81. Guibert N. C'est une allumette. Un enfant ne doit pas aller en prison. *Le Monde* du 17.11.2006
82. Guillet J, Guillet C, Blanquet P. Evaluation radio-isotopique de la croissance et de la maturation osseuse. 160 Explorations. *Ann Pediatr (Paris).* 1982 Mar;29(3):189-92. PubMed PMID: 6211121
83. Gustafson G, Koch G. Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odontol Revy.* 1974;25(3):297-306. PubMed PMID: 4530955
84. Guyton AC. Chap 79 Hormones parathyroïdienne, calcitonine, métabolisme du calcium et du phosphore, vitamine D, les os et les dents. In : *Traité de physiologie médicale.* 1ère ed. Doin, Paris 1984: 958-976
85. Haertig A, Crainic K, Durigon M. Identification médico-légale par le système dentaire. *Presse Med.* 1985 Mar 2;14(9):543-5. PubMed PMID: 3157168
86. Hägg U, Matsson L. Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods. *Eur J Orthod.* 1985 Feb;7(1):25-34. PubMed PMID: 3856522

87. Harris MJ, Nortjé CJ. The mesial root of the third mandibular molar. A possible indicator of age. *J Forensic Odontostomatol.* 1984 Jul-Dec;2(2):39-43. PubMed PMID: 6599801
88. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995 Jan;107(1):58-66. Erratum in: *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995 Jun;107(6):19. PubMed PMID: 7817962
89. Hatipoglu HG, Ozcan HN, Hatipoglu US, Yuksel E. Age, sex and body mass index in relation to calvarial diploe thickness and craniometric data on MRI. *Forensic Sci Int.* 2008 Nov 20;182(1-3):46-51. Epub 2008 Nov 8. PubMed PMID: 18996658
90. Hauk MJ, Moss ME, Weinberg GA, Berkowitz RJ. Delayed tooth eruption: association with severity of HIV infection. *Pediatr Dent.* 2001 May-Jun;23(3):260-2. PubMed PMID: 11447961
91. Hazebroucq V. A la recherche de la meilleure méthode possible de détermination radiologique de l'âge osseux à des fins judiciaires: y aurait-il une bonne réponse à une mauvaise question. *J Radiol.* 2008 Dec;89(12):1895-6. PubMed PMID: 19106845
92. Helm S. Relationship between dental and skeletal maturation in Danish schoolchildren. *Scand J Dent Res.* 1990 Aug;98(4):313-7. PubMed PMID: 2399427
93. Herzberg G. Fracture de l'extrémité inférieure du radius chez l'adulte. Mécanisme, diagnostic, traitement. *Rev Prat.* 1999 Jun 1;49(11):1207-13. PubMed PMID: 10416354
94. Holtgrave EA, Kretschmer R, Müller R. Acceleration in dental development: fact or fiction. *Eur J Orthod.* 1997 Dec;19(6):703-10. PubMed PMID: 9458603
95. Hsieh CW, Jong TL, Chou YH, Tiu CM. Computerized geometric features of carpal bone for bone age estimation. *Chin Med J (Engl).* 2007 May 5;120(9):767-70. PubMed PMID: 17531116
96. Işcan MY, Loth SR, Wright RK. Age estimation from the rib by phase analysis: white males. *J Forensic Sci.* 1984 Oct;29(4):1094-104. PubMed PMID: 6502109
97. Işcan MY, Loth SR, Wright RK. Age estimation from the rib by phase analysis: white females. *J Forensic Sci.* 1985 Jul;30(3):853-63. PubMed PMID: 4031812
98. Işcan MY, Loth SR, Wright RK. Racial variation in the sternal extremity of the rib and its effect on age determination. *J Forensic Sci.* 1987 Mar;32(2):452-66. PubMed PMID: 3572338
99. Isiekwe M. Skeletal maturity of children in Lagos, Nigeria. *Odontostomatol Trop.* 1987 Jun;10(2):111-4. PubMed PMID: 3481850
100. Jiménez-Castellanos J, Carmona A, Catalina-Herrera CJ, Viñuales M. Skeletal maturation of wrist and hand ossification centers in normal Spanish boys and girls: a study using the Greulich-Pyle method. *Acta Anat (Basel).* 1996;155(3):206-11. PubMed PMID: 8870789
101. Karasik D, Otremski I, Barach I, Yakovenko K, Batsevich V, Pavlovsky O, Kobylansky E, Livshits G. Comparative analysis of age prediction by markers of bone change in the hand assessed by roentgenography. *Am J Hum Biol.* 1999;11(1):31-43. PubMed PMID: 11533931

102. Katz N, Gothelf D, Hermesh H, Weizman A, Apter A, Horev G. Bone age in adolescents with schizophrenia and obsessive-compulsive disorder. *Schizophr Res.* 1998 Sep 7;33(1-2):119-22. PubMed PMID: 9783352
103. Kemper HC, Twisk JW, van Mechelen W, Post GB, Roos JC, Lips P. A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: The Amsterdam Growth And Health Longitudinal Study. *Bone.* 2000 Dec;27(6):847-53. PubMed PMID: 11113397
104. Khan KM, Miller BS, Hoggard E, Somani A, Sarafoglou K. Application of ultrasound for bone age estimation in clinical practice. *J Pediatr.* 2009 Feb;154(2):243-7. Epub 2008 Sep 27. PubMed PMID: 18823906
105. Kobylansky E, Karasik D, Belkin V, Livshits G. Bone ageing: genetics versus environment. *Ann Hum Biol.* 2000 Sep-Oct;27(5):433-51. Review. PubMed PMID: 11023115
106. Kobylansky E, Livshits G, Pavlovsky O. Population biology of human aging: methods of assessment and sex variation. *Hum Biol.* 1995 Feb;67(1):87-109. PubMed PMID: 7721281
107. Koc A, Karaoglanoglu M, Erdogan M, Kosecik M, Cesur Y. Assessment of bone ages: is the Greulich-Pyle method sufficient for Turkish boys? *Pediatr Int.* 2001 Dec;43(6):662-5. PubMed PMID: 11737745
108. Kolltveit KM, Solheim T, Kvaal SI. Methods of measuring morphological parameters in dental radiographs. Comparison between image analysis and manual measurements. *Forensic Sci Int.* 1998 Jun 8;94(1-2):87-95. PubMed PMID: 9670487
109. Koshy S, Tandon S. Dental age assessment: the applicability of Demirjian's method in south Indian children. *Forensic Sci Int.* 1998 Jun 8;94(1-2):73-85. PubMed PMID: 9670486
110. Krailassiri S, Anuwongnukroh N, Dechkunakorn S. Relationships between dental calcification stages and skeletal maturity indicators in Thai individuals. *Angle Orthod.* 2002 Apr;72(2):155-66. PubMed PMID: 11999939
111. Kreitner KF, Schweden FJ, Riepert T, Nafe B, Thelen M. Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *Eur Radiol.* 1998;8(7):1116-22. Review. PubMed PMID: 9724422
112. Kucukkeles N, Acar A, Biren S, Arun T. Comparisons between cervical vertebrae and hand-wrist maturation for the assessment of skeletal maturity. *J Clin Pediatr Dent.* 1999 Fall;24(1):47-52. PubMed PMID: 10709543
113. Kühnel W. Appareil digestif – Développement de la dent. In: *Atlas de poche d'histologie.* 1^{ère} ed. Médecine-Science Flammarion, Paris 1991: 234-9
114. Kullman L. Accuracy of two dental and one skeletal age estimation method in Swedish adolescents. *Forensic Sci Int.* 1995 Oct 30;75(2-3):225-36. PubMed PMID: 8586347
115. Kullman L, Johanson G, Akesson L. Root development of the lower third molar and its relation to chronological age. *Swed Dent J.* 1992;16(4):161-7. PubMed PMID: 1455327

116. Kullman L, Martinsson T, Zimmerman M, Welander U. Computerized measurements of the lower third molar related to chronologic age in young adults. *Acta Odontol Scand.* 1995 Aug;53(4):211-6. PubMed PMID: 7484101
117. Kullman L, Tronje G, Teivens A, Lundholm A. Methods of reducing observer variation in age estimation from panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996 Sep;25(4):173-8. PubMed PMID: 9084269
118. Kumar CL, Sridhar MS. Estimation of the age of an individual based on times of eruption of permanent teeth. *Forensic Sci Int.* 1990 Nov;48(1):1-7. PubMed PMID: 2279716
119. Kvaal S, Solheim T. A non-destructive dental method for age estimation. *J Forensic Odontostomatol.* 1994 Jun;12(1):6-11. PubMed PMID: 9227083
120. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int.* 1995 Jul 28;74(3):175-85. PubMed PMID: 7557754
121. Lackovic KP, Wood RE. Tooth root colour as a measure of chronological age. *J Forensic Odontostomatol.* 2000 Dec;18(2):37-45. PubMed PMID: 11324269
122. Lambert A, Abravanel J, Garcia-Mariño. Radiographie panoramique extra-orale en stomatologie. *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 1970 Jun;71(4):323-31. PubMed PMID: 5271679
123. Langman J. Organogénèse tête et cou – Dents. In: *Embryologie médicale.* 4^{ème} ed. Masson, Paris 1984: 301-330
124. Laurencikas E, Rosenborg M. Swedish metacarpophalangeal standards compared with previously published norms. *Acta Radiol.* 2000 Sep;41(5):498-502. PubMed PMID: 11016775
125. Lavelle CL. The timing of tooth emergence in four population samples. *J Dent.* 1976 Sep;4(5):231-6. PubMed PMID: 1067283
126. Lee SE, Lee SH, Lee JY, Park HK, Kim YK. Age estimation of Korean children based on dental maturity. *Forensic Sci Int.* 2008 Jul 4;178(2-3):125-31. Epub 2008 Apr 23. PubMed PMID: 18434053
127. Leinonen A, Wasz-Höckert B, Vuorinen P. Usefulness of the dental age obtained by orthopantomography as an indicator of the physical age. *Proc Finn Dent Soc.* 1972;68(5):235-42. PubMed PMID: 4345135
128. Leite HR, O'Reilly MT, Close JM. Skeletal age assessment using the first, second, and third fingers of the hand. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987 Dec;92(6):492-8. PubMed PMID: 3479895
129. Léonetti G, Signoli M, Hershkovitz I, Latimer B, Tervé JP, Jellema L, Cianfarani F, Dutour O. Variation de l'angle sphénoïdal du crâne humain en fonction du vieillissement. *C R Acad Sci III.* 1997 Nov;320(11):943-7. PubMed PMID: 9499941
130. Lequin MH, van Rijn RR, Robben SG, Hop WC, van Kuijk C. Normal values for tibial quantitative ultrasonometry in caucasian children and adolescents (aged 6 to 19 years). *Calcif Tissue Int.* 2000 Aug;67(2):101-5. PubMed PMID: 10920212

131. Levesque GY, Demirjian A. The inter-examiner variation in rating dental formation from radiographs. *J Dent Res.* 1980 Jul;59(7):1123-6. PubMed PMID: 6929805
132. Levesque GY, Demirjian A, Tanguay R. Sexual dimorphism in the development, emergence, and agenesis of the mandibular third molar. *J Dent Res.* 1981 Oct;60(10):1735-41. PubMed PMID: 6944337
133. Liebgott B. Dental age: its relation to skeletal age and the time of peak circumpuberal growth in length of the mandible. *Dent J.* 1978 May;44(5):223-7. PubMed PMID: 210026
134. Liliequist B, Lundberg M. Skeletal and tooth development. A methodologic investigation. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1971 Mar;11(2):97-112. PubMed PMID: 4326497
135. Liu J, Qi J, Liu Z, Ning Q, Luo X. Automatic bone age assessment based on intelligent algorithms and comparison with TW3 method. *Comput Med Imaging Graph.* 2008 Dec;32(8):678-84. Epub 2008 Oct 2. PubMed PMID: 18835130
136. Liversidge HM, Lyons F, Hector MP. The accuracy of three methods of age estimation using radiographic measurements of developing teeth. *Forensic Sci Int.* 2003 Jan 9;131(1):22-9. PubMed PMID: 12505467
137. Liversidge HM, Molleson TI. Developing permanent tooth length as an estimate of age. *J Forensic Sci.* 1999 Sep;44(5):917-20. PubMed PMID: 10486941
138. Loder RT, Estle DT, Morrison K, Eggleston D, Fish DN, Greenfield ML, Guire KE. Applicability of the Greulich and Pyle skeletal age standards to black and white children of today. *Am J Dis Child.* 1993 Dec;147(12):1329-33. PubMed PMID: 8249956
139. Loevy HT. Maturation of permanent teeth in Black and Latino children. *Acta Odontol Pediatr.* 1983 Dec;4(2):59-62. PubMed PMID: 6587828
140. López-Nicolás M, Canteras M, Luna A. Age estimation by IBAS image analysis of teeth. *Forensic Sci Int.* 1990 Mar;45(1-2):143-50. PubMed PMID: 2335328
141. López-Nicolás M, Morales A, Luna A. Application of dimorphism in teeth to age calculation. *J Forensic Odontostomatol.* 1996 Jun;14(1):9-12. PubMed PMID: 9227075
142. Lovejoy CO. Dental wear in the Libben population: its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. *Am J Phys Anthropol.* 1985 Sep;68(1):47-56. PubMed PMID: 4061601
143. Lucy D, Aykroyd RG, Pollard AM, Solheim T. A Bayesian approach to adult human age estimation from dental observations by Johanson's age changes. *J Forensic Sci.* 1996 Mar;41(2):189-94. PubMed PMID: 8871375
144. Lucy D, Pollard AM. Further comments on the estimation of error associated with the Gustafson dental age estimation method. *J Forensic Sci.* 1995 Mar;40(2):222-7. PubMed PMID: 7602282
145. Lynnerup N. Cranial thickness in relation to age, sex and general body build in a Danish forensic sample. *Forensic Sci Int.* 2001 Mar 1;117(1-2):45-51. PubMed PMID: 11230945

146. Lynnerup N, Belard E, Buch-Olsen K, Sejrsen B, Damgaard-Pedersen K. Intra- and interobserver error of the Greulich-Pyle method as used on a Danish forensic sample. *Forensic Sci Int.* 2008 Aug 6;179(2-3):242.e1-6. Epub 2008 Jul 3. PubMed PMID: 18602233
147. Lynnerup N, Thomsen I, Frohlich B. A non-invasive technique for age at death determination. *Med Sci Law.* 1990 Oct;30(4):317-20. PubMed PMID: 2263176
148. Maber M, Liversidge HM, Hector MP. Accuracy of age estimation of radiographic methods using developing teeth. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S68-73. Epub 2006 Mar 14. PubMed PMID: 16533584
149. Mahmoodi S, Sharif BS, Chester EG, Owen JP, Lee R. Skeletal growth estimation using radiographic image processing and analysis. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2000 Dec;4(4):292-7. PubMed PMID: 11206814
150. Malcolm LA, Bue B. Eruption times of permanent teeth and the determination of age in New Guinean children. *Trop Geogr Med.* 1970 Sep;22(3):307-12. PubMed PMID: 5470898
151. Malina RM, Little BB. Comparison of TW1 and TW2 skeletal age differences in American black and white and in Mexican children 6-13 years of age. *Ann Hum Biol.* 1981 Nov-Dec;8(6):543-8. PubMed PMID: 7337415
152. Mappes MS, Harris EF, Behrents RG. An example of regional variation in the tempos of tooth mineralization and hand-wrist ossification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992 Feb;101(2):145-51. PubMed PMID: 1739069
153. Martin-de las Heras S, García-Fortea P, Ortega A, Zdocovich S, Valenzuela A. Third molar development according to chronological age in populations from Spanish and Magrebian origin. *Forensic Sci Int.* 2008 Jan 15;174(1):47-53. Epub 2007 Apr 24. PubMed PMID: 17459627
154. Martrille L, Ubelaker DH, Cattaneo C, Seguret F, Tremblay M, Baccino E. Comparison of four skeletal methods for the estimation of age at death on white and black adults. *J Forensic Sci.* 2007 Mar;52(2):302-7. PubMed PMID: 17316225
155. Meinl A, Huber CD, Tangl S, Gruber GM, Teschler-Nicola M, Watzek G. Comparison of the validity of three dental methods for the estimation of age at death. *Forensic Sci Int.* 2008 Jul 4;178(2-3):96-105. Epub 2008 Apr 8. PubMed PMID: 18400432
156. Meinl A, Tangl S, Pernicka E, Fenes C, Watzek G. On the applicability of secondary dentin formation to radiological age estimation in young adults. *J Forensic Sci.* 2007 Mar;52(2):438-41. PubMed PMID: 17316247
157. Mensforth RP, Lovejoy CO. Anatomical, physiological, and epidemiological correlates of the aging process: a confirmation of multifactorial age determination in the Libben skeletal population. *Am J Phys Anthropol.* 1985 Sep;68(1):87-106. PubMed PMID: 4061605
158. Mesotten K, Gunst K, Carbonez A, Willems G. Dental age estimation and third molars: a preliminary study. *Forensic Sci Int.* 2002 Sep 26;129(2):110-5. PubMed PMID: 12243879

159. Miles AE. The dentition of the Anglo-Saxons. *Proc R Soc Med.* 1969 Dec 12;62(12):1311-5. PubMed PMID: 5363119; PubMed Central PMCID: PMC1815410
160. Milner GR, Levick RK, Kay R. Assessment of bone age: a comparison of the Greulich and Pyle, and the Tanner and Whitehouse methods. *Clin Radiol.* 1986 Mar;37(2):119-21. PubMed PMID: 3698492
161. Mincer HH, Harris EF, Berryman HE. The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci.* 1993 Mar;38(2):379-90. Erratum in: *J Forensic Sci* 1993 Nov;38(6):1524. PubMed PMID: 8454998
162. Mito T, Sato K, Mitani H. Cervical vertebral bone age in girls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 Oct;122(4):380-5. PubMed PMID: 12411883
163. Mörnstad H, Staaf V, Welander U. Age estimation with the aid of tooth development: a new method based on objective measurements. *Scand J Dent Res.* 1994 Jun;102(3):137-43. PubMed PMID: 8085119
164. Morse DR, Esposito JV, Schoor RS. A radiographic study of aging changes of the dental pulp and dentin in normal teeth. *Quintessence Int.* 1993 May;24(5):329-33. PubMed PMID: 8362047
165. Morse DR, Esposito JV, Schoor RS, Gorin R. Comparison of clinical and statistical models in age estimation using dental periapical radiographic parameters. *Compendium.* 1993 Jun;14(6):832, 834, 836 passim. PubMed PMID: 8221754
166. Mühler M, Schulz R, Schmidt S, Schmeling A, Reisinger W. The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *Int J Legal Med.* 2006 Jan;120(1):15-7. Epub 2005 Jul 13. PubMed PMID: 16012831
167. Muller-Bolla M, Lupi-Pégurier L, Quatrehomme G, Velly AM, Bolla M. Age estimation from teeth in children and adolescents. *J Forensic Sci.* 2003 Jan;48(1):140-8. PubMed PMID: 12570216
168. Nambiar P. Age estimation using third molar development. *Malays J Pathol.* 1995 Jun;17(1):31-4. PubMed PMID: 8907002
169. Nambiar P, Naidu MD, Subramaniam K. Anatomical variability of the frontal sinuses and their application in forensic identification. *Clin Anat.* 1999;12(1):16-9. PubMed PMID: 9890725
170. Nambiar P, Yaacob H, Menon R. Third molars in the establishment of adult status-a case report. *J Forensic Odontostomatol.* 1996 Dec;14(2):30-3. PubMed PMID: 9227080
171. Neville BW, Damm DD, Allen CM, Bouquot JE. Abnormalities of teeth. In: *Oral and Maxillofacial pathology.* 2nd ed. Saunders, Philadelphia 2002: 49-106
172. Nortjé CJ. The permanent mandibular third molar. Its value in age determination. *J Forensic Odontostomatol.* 1983 Jan-Jun;1(1):27-31. PubMed PMID: 6599785
173. Nuzzolese E, Di Vella G. Forensic dental investigations and age assessment of asylum seekers. *Int Dent J.* 2008 Jun;58(3):122-6. PubMed PMID: 18630106

174. Nykänen R, Espeland L, Kvaal SI, Krogstad O. Validity of the Demirjian method for dental age estimation when applied to Norwegian children. *Acta Odontol Scand.* 1998 Aug;56(4):238-44. PubMed PMID: 9765017
175. Nyström M, Kleemola-Kujala E, Evälahti M, Peck L, Kataja M. Emergence of permanent teeth and dental age in a series of Finns. *Acta Odontol Scand.* 2001 Apr;59(2):49-56. PubMed PMID: 11370749
176. Ohtani S, Abe I, Yamamoto T. An application of D- and L-aspartic acid mixtures as standard specimens for the chronological age estimation. *J Forensic Sci.* 2005 Nov;50(6):1298-302. PubMed PMID: 16382822
177. Okano T, Harata Y, Sugihara Y, Sakaino R, Tsuchida R, Iwai K, Seki K, Araki K. Absorbed and effective doses from cone beam volumetric imaging for implant planning. *Dentomaxillofac Radiol.* 2009 Feb;38(2):79-85. PubMed PMID: 19176649
178. Olze A, Bilanz D, Schmidt S, Wernecke KD, Geserick G, Schmeling A. Validation of common classification systems for assessing the mineralization of third molars. *Int J Legal Med.* 2005 Jan;119(1):22-6. Epub 2004 Nov 6. PubMed PMID: 15538611
179. Olze A, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Heinecke A, Maeda H, Schmeling A. Studies of the chronological course of wisdom tooth eruption in a Japanese population. *Forensic Sci Int.* 2008 Jan 30;174(2-3):203-6. Epub 2007 Jun 4. PubMed PMID: 17548179
180. Olze A, Mahlow A, Schmidt S, Wernecke KD, Geserick G, Schmeling A. Combined determination of selected radiological and morphological variables relevant for dental age estimation of young adults. *Homo.* 2005;56(2):133-40. PubMed PMID: 16130836
181. Olze A, Peschke C, Schulz R, Schmeling A. Studies of the chronological course of wisdom tooth eruption in a German population. *J Forensic Leg Med.* 2008 Oct;15(7):426-9. PubMed PMID: 18761308
182. Olze A, Reisinger W, Geserick G, Schmeling A. Age estimation of unaccompanied minors. Part II. Dental aspects. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S65-7. Epub 2006 Mar 9. Review. PubMed PMID: 16529893
183. Olze A, van Niekerk P, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Maeda H, Schmeling A. Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *Int J Legal Med.* 2007 Nov;121(6):445-8. Epub 2007 Apr 24. PubMed PMID: 17453230
184. Olze A, van Niekerk P, Schulz R, Schmeling A. Studies of the chronological course of wisdom tooth eruption in a Black African population. *J Forensic Sci.* 2007 Sep;52(5):1161-3. PubMed PMID: 17767660
185. Ontell FK, Ivanovic M, Ablin DS, Barlow TW. Bone age in children of diverse ethnicity. *AJR Am J Roentgenol.* 1996 Dec;167(6):1395-8. PubMed PMID: 8956565
186. Paewinsky E, Pfeiffer H, Brinkmann B. Quantification of secondary dentine formation from orthopantomograms--a contribution to forensic age estimation methods in adults. *Int J Legal Med.* 2005 Jan;119(1):27-30. Epub 2004 Nov 6. PubMed PMID: 15538610
187. Perrier M, Bollmann M, Girod A, Mangin P. Swiss DVI at the tsunami disaster: expect the unexpected. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S30-2. Epub 2006 Apr 4. PubMed PMID: 16600548

188. Persson M, Thilander B. Craniofacial development and growth. In: Introduction to orthodontics. 1st ed Tandläkarförlaget, Stockholm 1985: 13-44
189. Pfau RO, Sciulli PW. A method for establishing the age of subadults. *J Forensic Sci.* 1994 Jan;39(1):165-76. PubMed PMID: 8113699
190. Pietka BE, Pośpiech S, Gertych A, Cao F, Huang HK, Gilsanz V. Computer automated approach to the extraction of epiphyseal regions in hand radiographs. *J Digit Imaging.* 2001 Dec;14(4):165-72. PubMed PMID: 11894888
191. Pillai PS, Bhaskar GR. Age estimation from teeth using Gustafson's method - a study in India. *Forensic Sci.* 1974 Apr;3(2):135-41. PubMed PMID: 4825745
192. Prapanpoch S, Dove SB, Cottone JA. Morphometric analysis of the dental pulp chamber as a method of age determination in humans. *Am J Forensic Med Pathol.* 1992 Mar;13(1):50-5. PubMed PMID: 1585888
193. Prince DA, Konigsberg LW. New formulae for estimating age-at-death in the Balkans utilizing Lamendin's dental technique and Bayesian analysis. *J Forensic Sci.* 2008 May;53(3):578-87. PubMed PMID: 18471200
194. Proffit WR, Fields HW, Ackerman JL, Thomas PM, Tulloch JFC. The later stages of development. In: Contemporary orthodontics. CV Mosby Company, St-Louis 1986: 63-94
195. Prokopec M, Pfeiferová K, Josífko M. Ossification of the sesamoid bone at the base of the first finger in Czech boys and girls. *Cent Eur J Public Health.* 1997 Dec;5(4):155-9. PubMed PMID: 9457411
196. Proy E, Gautier N. La maturation dentaire chez les adolescents français. *Rev Orthop Dento Faciale.* 1986;20(1):107-21. PubMed PMID: 3465001
197. Rahimy C, Bernaudin F, Azau C, de la Rocque F, Lemerle S, Reinert P. Avances staturales de l'enfant. *Presse Med.* 1990 Oct 6;19(32):1490-3. PubMed PMID: 2146651
198. Rakosi T, Jonas I. Age biologique – âge osseux. In: Orthopédie dentofaciale. 1ère ed fr. Médecine-Science Flammarion, Paris 1992: 102-7
199. Reppien K, Sejrnsen B, Lynnerup N. Evaluation of post-mortem estimated dental age versus real age: a retrospective 21-year survey. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S84-8. Epub 2006 Mar 15. PubMed PMID: 16540275
200. Rikhasor RM, Qureshi AM, Rathi SL, Channa NA. Skeletal maturity in Pakistani children. *J Anat.* 1999 Aug;195 (Pt 2):305-8. PubMed PMID: 10529066; PubMed Central PMCID: PMC1467994
201. Ritz-Timme S, Cattaneo C, Collins MJ, Waite ER, Schütz HW, Kaatsch HJ, Borrman HI. Age estimation: the state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. *Int J Legal Med.* 2000;113(3):129-36. Review. PubMed PMID: 10876982
202. Roberts GJ, Parekh S, Petrie A, Lucas VS. Dental age assessment (DAA): a simple method for children and emerging adults. *Br Dent J.* 2008 Feb 23;204(4):E7; discussion 192-3. Epub 2008 Jan 18. PubMed PMID: 18200067

203. Robetti I, Iorio M, Dalle Molle M. Orthopantomography and the determination of majority age. *Panminerva Med.* 1993 Sep;35(3):170-2. PubMed PMID: 8090533
204. Roland E, Floc'h A. Etude des liaisons entre âge osseux, âge dentaire et âge civil. *Inf Dent.* 1991 Sep 12;73(30):2423, 2425, 2427-8. PubMed PMID: 1809680
205. Różyło-Kalinowska I, Kiworkowa-Raczkowska E, Kalinowski P. Dental age in Central Poland. *Forensic Sci Int.* 2008 Jan 30;174(2-3):207-16. Epub 2007 May 30. PubMed PMID: 17540524
206. Rucci M, Coppini G, Nicoletti I, Cheli D, Valli G. Automatic analysis of hand radiographs for the assessment of skeletal age: a subsymbolic approach. *Comput Biomed Res.* 1995 Jun;28(3):239-56. PubMed PMID: 7554858
207. Ruf S, Pancherz H. Can frontal sinus development be used for the prediction of skeletal maturity at puberty? *Acta Odontol Scand.* 1996 Aug;54(4):229-34. PubMed PMID: 8876733
208. Ruf S, Pancherz H. Development of the frontal sinus in relation to somatic and skeletal maturity. A cephalometric roentgenographic study at puberty. *Eur J Orthod.* 1996 Oct;18(5):491-7. PubMed PMID: 8942099
209. Ruf S, Pancherz H. Frontal sinus development as an indicator for somatic maturity at puberty? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996 Nov;110(5):476-82. PubMed PMID: 8922505
210. Rundle AT, Dollimore J. Age-related bone change. *J Ment Defic Res.* 1976 Mar;20(1):55-9. PubMed PMID: 178874
211. Saunders S, DeVito C, Herring A, Southern R, Hoppa R. Accuracy tests of tooth formation age estimations for human skeletal remains. *Am J Phys Anthropol.* 1993 Oct;92(2):173-88. PubMed PMID: 8273830
212. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G. Age estimation of living people undergoing criminal proceedings. *Lancet.* 2001 Jul 14;358(9276):89-90. PubMed PMID: 11463408
213. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Rösing FW, Geserick G. Forensic age diagnostics of living individuals in criminal proceedings. *Homo.* 2003;54(2):162-9. PubMed PMID: 14740366
214. Schmeling A, Reisinger W, Geserick G, Olze A. Age estimation of unaccompanied minors. Part I. General considerations. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S61-4. Epub 2006 Mar 9. Review. PubMed PMID: 16529895
215. Schmeling A, Reisinger W, Loreck D, Vendura K, Markus W, Geserick G. Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations. *Int J Legal Med.* 2000;113(5):253-8. PubMed PMID: 11009058
216. Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke KD, Geserick G. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Legal Med.* 2004 Feb;118(1):5-8. Epub 2003 Oct 8. PubMed PMID: 14534796
217. Schmidt S, Baumann U, Schulz R, Reisinger W, Schmeling A. Study of age dependence of epiphyseal ossification of the hand skeleton. *Int J Legal Med.* 2008 Jan;122(1):51-4. Epub 2007 Oct 5. PubMed PMID: 17917737

218. Schmidt S, Koch B, Schulz R, Reisinger W, Schmeling A. Studies in use of the Greulich-Pyle skeletal age method to assess criminal liability. *Leg Med (Tokyo)*. 2008 Jul;10(4):190-5. Epub 2008 Mar 10. PubMed PMID: 18331810
219. Schmidt S, Mühler M, Schmeling A, Reisinger W, Schulz R. Magnetic resonance imaging of the clavicular ossification. *Int J Legal Med*. 2007 Jul;121(4):321-4. Epub 2007 Apr 17. PubMed PMID: 17437121
220. Schulz R, Mühler M, Reisinger W, Schmidt S, Schmeling A. Radiographic staging of ossification of the medial clavicular epiphysis. *Int J Legal Med*. 2008 Jan;122(1):55-8. Epub 2007 Oct 17. PubMed PMID: 17940787
221. Schulz R, Zwiesigk P, Schiborr M, Schmidt S, Schmeling A. Ultrasound studies on the time course of clavicular ossification. *Int J Legal Med*. 2008 Mar;122(2):163-7. Epub 2008 Jan 8. PubMed PMID: 18180940
222. Schulze D, Rother U, Fuhrmann A, Richel S, Faulmann G, Heiland M. Correlation of age and ossification of the medial clavicular epiphysis using computed tomography. *Forensic Sci Int*. 2006 May 10;158(2-3):184-9. Epub 2005 Jul 19. PubMed PMID: 16046092
223. Scoles PV, Salvagno R, Villalba K, Riew D. Relationship of iliac crest maturation to skeletal and chronologic age. *J Pediatr Orthop*. 1988 Nov-Dec;8(6):639-44. PubMed PMID: 3192691
224. Shaikh AH, Rikhasor RM, Qureshi AM. Determination of skeletal age in children aged 8-18 years. *J Pak Med Assoc*. 1998 Apr;48(4):104-6. PubMed PMID: 9783045
225. Silbernagel S, Despopoulos A. métabolisme osseux. In: *Atlas de poche de physiologie*. 1ère ed. Médecien-Science Flammarion, Paris 1986: 256-7
226. Silbernagel S, Lang F. Physiopathologie des os. In : *Atlas de poche de physiopathologie*. 1ère ed. Médecine-Science Flammarion, Paris 2000: 132-3
227. Sisman Y, Uysal T, Yagmur F, Ramoglu SI. Third-molar development in relation to chronologic age in Turkish children and young adults. *Angle Orthod*. 2007 Nov;77(6):1040-5. Review. PubMed PMID: 18004924
228. Smith SL. Skeletal age, dental age, and the maturation of KNM-WT 15000. *Am J Phys Anthropol*. 2004 Oct;125(2):105-20. PubMed PMID: 15365977
229. So LL. Skeletal maturation of the hand and wrist and its correlation with dental development. *Aust Orthod J*. 1997 Oct;15(1):1-9. PubMed PMID: 9528396
230. Solari AC, Abramovitch K. The accuracy and precision of third molar development as an indicator of chronological age in Hispanics. *J Forensic Sci*. 2002 May;47(3):531-5. PubMed PMID: 12051331
231. Solheim T. Dental color as an indicator of age. *Gerodontology*. 1988 Jun;4(3):114-8. PubMed PMID: 3209032
232. Solheim T. Recession of periodontal ligament as an indicator of age. *J Forensic Odontostomatol*. 1992 Dec;10(2):32-42. PubMed PMID: 1342054
233. Solheim T, Vonen A. Dental age estimation, quality assurance and age estimation of asylum seekers in Norway. *Forensic Sci Int*. 2006 May 15;159 Suppl 1:S56-60. Epub 2006 Mar 15. PubMed PMID: 16542802

234. Song HW, Jia JT. The estimation of tooth age from attrition of the occlusal surface. *Med Sci Law*. 1989 Jan;29(1):69-73. PubMed PMID: 2747466
235. Song HW, Jia JT, Cameron JM. Age determination of the molars. *Med Sci Law*. 1991 Jan;31(1):65-8. PubMed PMID: 2005772
236. Soomer H, Ranta H, Lincoln MJ, Penttilä A, Leibur E. Reliability and validity of eight dental age estimation methods for adults. *J Forensic Sci*. 2003 Jan;48(1):149-52. PubMed PMID: 12570217
237. Staaf V, Mörnstad H, Welander U. Age estimation based on tooth development: a test of reliability and validity. *Scand J Dent Res*. 1991 Aug;99(4):281-6. PubMed PMID: 1771373
238. Stevens-Simon C, McAnarney ER. Skeletal maturity and growth of adolescent mothers: relationship to pregnancy outcome. *J Adolesc Health*. 1993 Sep;14(6):428-32. PubMed PMID: 8241197
239. Sweet D. Solving certain dental records problems with technology-the Canadian solution in the Thailand tsunami response. *Forensic Sci Int*. 2006 May 15;159 Suppl 1:S20-3. Epub 2006 Mar 20. PubMed PMID: 16542803
240. Tanner J, Oshman D, Bahhage F, Healy M. Tanner-Whitehouse bone age reference values for North American children. *J Pediatr*. 1997 Jul;131(1 Pt 1):34-40. PubMed PMID: 9255189
241. Tanner JM, Oshman D, Lindgren G, Grunbaum JA, Elsouki R, Labarthe D. Reliability and validity of computer-assisted estimates of Tanner-Whitehouse skeletal maturity (CASAS): comparison with the manual method. *Horm Res*. 1994;42(6):288-94. PubMed PMID: 7698726
242. Teivens A, Mörnstad H. A modification of the Demirjian method for age estimation in children. *J Forensic Odontostomatol*. 2001 Dec;19(2):26-30. PubMed PMID: 11813497
243. Teivens A, Mörnstad H. A comparison between dental maturity rate in the Swedish and Korean populations using a modified Demirjian method. *J Forensic Odontostomatol*. 2001 Dec;19(2):31-5. PubMed PMID: 11813498
244. Theintz GE, Howald H, Weiss U, Sizonenko PC. Evidence for a reduction of growth potential in adolescent female gymnasts. *J Pediatr*. 1993 Feb;122(2):306-13. PubMed PMID: 8117341
245. Thevissen PW, Poelman G, De Cooman M, Puers R, Willems G. Implantation of an RFID-tag into human molars to reduce hard forensic identification labor. Part I: working principle. *Forensic Sci Int*. 2006 May 15;159 Suppl 1:S33-9. Epub 2006 Mar 23. PubMed PMID: 16563681
246. Thevissen PW, Poelman G, De Cooman M, Puers R, Willems G. Implantation of an RFID-tag into human molars to reduce hard forensic identification labor. Part 2: physical properties. *Forensic Sci Int*. 2006 May 15;159 Suppl 1:S40-6. Epub 2006 Mar 22. PubMed PMID: 16554132
247. Thomas CJ, Nortjé CJ, van Rensburg BG, van Wyk CW. Age determination in a living individual--a case report. *J Forensic Odontostomatol*. 1987 Dec;5(2):59-66. PubMed PMID: 3268563

248. Thorson J, Hägg U. The accuracy and precision of the third mandibular molar as an indicator of chronological age. *Swed Dent J.* 1991;15(1):15-22. PubMed PMID: 2035147
249. Titre IV. Des registre de baptêmes, des mariages & des sépultures. Articles I à V. in *Code genevois – Livre second 1791: 162-3*
250. Ubelaker DH, Parra RC. Application of three dental methods of adult age estimation from intact single rooted teeth to a Peruvian sample. *J Forensic Sci.* 2008 May;53(3):608-11. PubMed PMID: 18471205
251. van Lenthe FJ, Kemper HC, van Mechelen W. Skeletal maturation in adolescence: a comparison between the Tanner-Whitehouse II and the Fels method. *Eur J Pediatr.* 1998 Oct;157(10):798-801. PubMed PMID: 9809816
252. van Rijn RR, Lequin MH, Robben SG, Hop WC, van Kuijk C. Is the Greulich and Pyle atlas still valid for Dutch Caucasian children today? *Pediatr Radiol.* 2001 Oct;31(10):748-52. PubMed PMID: 1168544
253. Varrela TM, Paunio K, Wouters FR, Tiekso J, Söder PO. The relation between tooth eruption and alveolar crest height in a human skeletal sample. *Arch Oral Biol.* 1995 Mar;40(3):175-80. PubMed PMID: 7605245
254. Vermylen Y. Guidelines in forensic odontology: legal aspects. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S6-8. Epub 2006 Mar 23. PubMed PMID: 16563684
255. Vignolo M, Brignone A, Mascagni A, Ravera G, Biasotti B, Aicardi G. Influence of age, sex, and growth variables on phalangeal quantitative ultrasound measures: a study in healthy children and adolescents. *Calcif Tissue Int.* 2003 Jun;72(6):681-8. PubMed PMID: 14562996
256. Vignolo M, Milani S, DiBattista E, Naselli A, Mostert M, Aicardi G. Modified Greulich-Pyle, Tanner-Whitehouse, and Roche-Wainer-Thissen (knee) methods for skeletal age assessment in a group of Italian children and adolescents. *Eur J Pediatr.* 1990 Feb;149(5):314-7. PubMed PMID: 2311626
257. Vignolo M, Naselli A, Magliano P, Di Battista E, Aicardi M, Aicardi G. Use of the new US90 standards for TW-RUS skeletal maturity scores in youths from the Italian population. *Horm Res.* 1999;51(4):168-72. PubMed PMID: 10474017
258. Wagner UA, Diedrich V, Schmitt O. Determination of skeletal maturity by ultrasound: a preliminary report. *Skeletal Radiol.* 1995 Aug;24(6):417-20. PubMed PMID: 7481897
259. Wenzel A, Droschl H, Melsen B. Skeletal maturity in Austrian children assessed by the GP and the TW-2 methods. *Ann Hum Biol.* 1984 Mar-Apr;11(2):173-7. PubMed PMID: 6732183
260. Wenzel A, Melsen B. Skeletal maturity in 6-16-year-old Danish children assessed by the Tanner-Whitehouse-2 method. *Ann Hum Biol.* 1982 May-Jun;9(3):277-81. PubMed PMID: 7103407
261. Widmer Joly S. Cambriolages: les voleurs sont de plus en plus jeunes. *Malaise - Que font le Service de la jeunesse et le Tribunal de la jeunesse devant un tel fléau?* *Tribune de Genève* du 20.04.2001: 21

262. Willems G. A review of the most commonly used dental age estimation techniques. *J Forensic Odontostomatol.* 2001 Jun;19(1):9-17. PubMed PMID: 11494678
263. Willems G, Moulin-Romsee C, Solheim T. Non-destructive dental-age calculation methods in adults: intra- and inter-observer effects. *Forensic Sci Int.* 2002 May 23;126(3):221-6. PubMed PMID: 12062945
264. Willems G, Van Olmen A, Spiessens B, Carels C. Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited. *J Forensic Sci.* 2001 Jul;46(4):893-5. PubMed PMID: 11451073
265. Willershausen B, Löffler N, Schulze R. Analysis of 1202 orthopantograms to evaluate the potential of forensic age determination based on third molar developmental stages. *Eur J Med Res.* 2001 Sep 28;6(9):377-84. PubMed PMID: 11591528
266. Williams RE, Ceen RF. Craniofacial growth and the dentition. *Pediatr Clin North Am.* 1982 Jun;29(3):503-22. Review. PubMed PMID: 7045796
267. Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW. Tooth cementum annulation for age estimation: results from a large known-age validation study. *Am J Phys Anthropol.* 2004 Feb;123(2):119-29. PubMed PMID: 14730646
268. Wood RE. Forensic aspects of maxillofacial radiology. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S47-55. Epub 2006 Mar 10. Review. PubMed PMID: 16529896
269. Xu XH, Philipsen HP, Jablonski NG, Weatherhead B, Pang KM, Zhu JZ. Preliminary report on a new method of human age estimation from single adult teeth. *Forensic Sci Int.* 1991 Oct;51(2):281-8. PubMed PMID: 1765336
270. Yang F, Jacobs R, Willems G. Dental age estimation through volume matching of teeth imaged by cone-beam CT. *Forensic Sci Int.* 2006 May 15;159 Suppl 1:S78-83. Epub 2006 Mar 23. PubMed PMID: 16563678
271. Ye YY, Wang CX, Cao LZ. Skeletal maturity of the hand and wrist in Chinese children in Changsha assessed by TW2 method. *Ann Hum Biol.* 1992 Jul-Aug;19(4):427-30. PubMed PMID: 1616296
272. Yeon KM. Standard bone-age of infants and children in Korea. *J Korean Med Sci.* 1997 Feb;12(1):9-16. PubMed PMID: 9142654
273. Yun JI, Lee JY, Chung JW, Kho HS, Kim YK. Age estimation of Korean adults by occlusal tooth wear. *J Forensic Sci.* 2007 May;52(3):678-83. PubMed PMID:17456094
274. Zhen OY, Baolin L. Skeletal maturity of the hand and wrist in Chinese school children in Harbin assessed by the TW2 method. *Ann Hum Biol.* 1986 Mar-Apr;13(2):183-7. PubMed PMID: 3707048

13 TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	p1
2	DES RAISONS DE CONNAÎTRE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN	p2
2.1	EN MÉDECINE HUMAINE	2
2.2	EN MÉDECINE DENTAIRE	2
2.3	EN MÉDECINE LÉGALE	3
2.4	EN ARCHÉOLOGIE-ANTHROPOLOGIE	4
3	DES RAISONS DE L'UTILISATION DES OS ET DES DENTS COMME TÉMOINS DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN	p5
3.1	À PROPOS DES OS	5
3.2	A PROPOS DES DENTS	8
4	DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE D'UN ÊTRE HUMAIN À PARTIR DE SES OS	p13
4.1	MÉTHODES QUANTITATIVES	13
4.1.1	Scintigraphie	13
4.1.2	Evaluation du taux de minéralisation osseuse (BMD)	14
4.1.3	Modifications régressives trabéculaires du fémur	15
4.1.4	Mesures de longueurs	16
4.1.4.1	<i>Longueurs Corporelle et des segments de membres</i>	16
4.1.4.2	<i>Longueurs métacarpophalangiennes</i>	17
4.1.5	Rapport de longueurs	19
4.1.5.1	<i>Au niveau des os de la main</i>	19
4.1.5.2	<i>Au niveau des vertèbres cervicales</i>	21
4.1.6	Calcul de surface au niveau du poignet	22
4.1.7	Variation de l'angle sphénoïdal	23
4.1.8	Taille du sinus frontal	24
4.1.9	Épaisseur du diploé et volume crânien	25
4.2	MÉTHODES QUALITATIVES (MATURATION, CHANGEMENTS RÉGRESSIFS)	26
4.2.1	Changements régressifs des os de la main	26
4.2.2	Maturation et changements régressifs* des côtes	28
4.2.3	Maturation de la tête fémorale	32
4.2.4	Maturation de la crête iliaque	33
4.2.5	Maturation de la clavicule	34
4.2.6	Maturation des vertèbres cervicales	39

4.2.7	Maturation des sutures du crâne	41
4.2.8	Maturation des épiphyses distales (poignet, cheville)	42
4.2.9	Maturation des os du coude	42
4.2.10	Maturation de l'os sésamoïde du pouce	43
4.2.11	Maturation des os du carpe et des métacarpes	44
4.2.12	Maturation des os du poignet et de la main	45
4.2.12.1	<i>Selon Björk</i>	46
4.2.12.2	<i>Selon Fishman</i>	49
4.2.12.3	<i>Selon Schmidt et coll. 2008 ⁽²¹⁷⁾</i>	49
4.2.12.4	<i>Méthode dite de l'Atlas (GP)</i>	50
4.2.12.5	<i>Méthodes dite des scores (TW, Fels)</i>	52
4.2.12.5.1	<i>Selon Tanner-Whitehouse</i>	52
4.2.12.5.2	<i>Selon Fels</i>	56
4.3	AUTRES MÉTHODES	57
4.3.1	Ultrasonographie (US) & vitesse de transmission	57
5	DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE DE L'ÊTRE HUMAIN À PARTIR DE SES DENTS	p58
5.1	MÉTHODES QUANTITATIVES DE LABORATOIRE	59
5.1.1	Evaluation de l'âge par le taux d'acide aspartique dentinaire	59
5.1.2	Estimation de l'âge à partir du dépôt annulaire de ciment	59
5.1.3	Le retrait du ligament desmodontal comme indicateur de l'âge	61
5.1.4	La couleur de la dentine radiculaire comme indicateur de l'âge	62
5.1.5	La transparence de la dentine radiculaire comme indicateur de l'âge	63
5.1.6	La méthode de Lamendin	63
5.1.7	Les méthodes multicritères (Gustafson)	64
5.2	MÉTHODES QUANTITATIVES CLINIQUES	67
5.2.1	La longueur des germes des dents permanentes comme indicateur de l'âge	67
5.2.2	L'éruption dentaire comme indicateur de l'âge	70
5.3	MÉTHODES QUALITATIVES DE LABORATOIRE	73
5.4	MÉTHODES QUALITATIVES (MATURATION, CHANGEMENTS RÉGRESSIFS) CLINIQUES	73
5.4.1	L'attrition occlusale comme témoin de l'âge	73
5.4.2	La maturation dentaire comme indicateur de l'âge	76
5.4.2.1	<i>Méthode qualitative par stades selon Demirjian</i>	76
5.4.2.2	<i>Autres méthodes qualitatives par stades de maturation</i>	82
5.4.2.3	<i>Méthodes quantitatives et "maturation secondaire"</i>	85
5.5	AUTRES MÉTHODES	90

5.5.1	Technique associant la maturation dentaire et l'éruption	90
5.5.2	Technique associant l'éruption dentaire et le "DMFT index"	91
5.5.3	Technique associant des paramètres radiologiques du "DMFT index", l'état parodontal et la taille pulpaire	91
5.6	A PROPOS DES DENTS DE SAGESSE COMME INDICATEURS DE L'ÂGE	92
6	DES LIAISONS ENTRE ÂGES OSSEUX, DENTAIRE ET CIVIL	p99
6.1	ÂGE OSSEUX, ÂGE DENTAIRE ET PIC DE CROISSANCE	99
6.2	DE L'ÂGE OSSEUX ET DE L'ÂGE DENTAIRE OU DE L'ÂGE CIVIL	100
6.3	DES ÂGES OSSEUX, DENTAIRE ET CHRONOLOGIQUE	102
7	DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE APPLICABLES AU SUJET VIVANT	p103
8	DES LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION DE L'ÂGE	p112
8.1	A PROPOS DE L'ÂGE OSSEUX	112
8.1.1	Facteurs influençant l'os	112
8.1.1.1	<i>Facteur génétique</i>	112
8.1.1.2	<i>Facteurs socio-économiques</i>	114
8.1.1.3	<i>Facteur séculaire</i>	115
8.1.1.4	<i>Facteurs relatifs à la croissance</i>	115
8.1.1.5	<i>Facteurs relatifs à l'état (\pm dégénératif) de l'os mature</i>	116
8.1.2	Facteurs liés à la technique	117
8.1.2.1	<i>Qualité de réalisation</i>	117
8.1.2.2	<i>Précision</i>	118
8.1.2.3	<i>Reproductibilité</i>	119
8.1.3	Facteurs liés à la méthode statistique	119
8.1.3.1	<i>Influence du modèle mathématique</i>	119
8.1.3.2	<i>Taille de l'échantillon</i>	119
8.1.3.3	<i>Taille de la tranche d'âge</i>	120
8.1.3.4	<i>Précision et intervalle de confiance</i>	120
8.1.3.5	<i>Confirmation de résultats, comparaison entre méthodes</i>	121
8.1.3.5.1	Nouvelle méthode	121
8.1.3.5.2	Entre méthodes observant les mêmes zones	122
8.2	A PROPOS DE L'ÂGE DENTAIRE	122
8.2.1	Limite d'ordre technique	122
8.2.2	Limite statistique	123
8.2.3	Limite liée à l'observateur	125

8.2.4	Limites en fonction de la méthode d'évaluation	126
8.2.4.1	<i>Difficulté d'évaluation de l'âge par la maturation dentaire</i>	127
8.2.4.2	<i>Difficulté d'évaluation de l'âge sur les altérations liées au temps</i>	128
8.3	GÉNÉRALITÉS CONCERNANT L'ÂGE D'UN INDIVIDU	130
9	DES PERSPECTIVES RELATIVES A L'ÉVALUATION DE L'ÂGE	p131
9.1	CONCERNANT LA TECHNIQUE	131
9.1.1	A propos de techniques d'imagerie	131
9.1.2	Autorisant l'application d'une méthode chez le sujet vivant	132
9.1.3	Diminuant l'irradiation du sujet vivant	132
9.1.4	A propos de l'automatisation (moyens informatiques)	137
9.2	A PROPOS DE LA MÉTHODE (ÉLÉMENTS STATISTIQUES)	138
9.2.1	Amélioration de la puissance statistique (échantillon)	139
9.2.2	Connaissance des limites d'une méthode & combinaison	139
9.3	APPRÉCIATION DE L'ÉVALUATION	140
9.3.1	A propos de l'examineur	140
9.3.2	Qualité de l'évaluation	141
10	CONCLUSION	p143
11	GLOSSAIRE – ABREVIATIONS – ANNEXES	p148
12	BIBLIOGRAPHIE	p159
13	TABLE DES MATIÈRES	p178