

Année : 2005

N° 43 16 05

# ***L'évaluation de la maturation osseuse : intérêt en O.D.F.***

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE  
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

*présentée  
et soutenue publiquement par*

**MOREAU Xavier**

Né le 11 décembre 1976

*Le mardi 11 janvier 2005 devant le jury ci-dessous*

**Président : Madame le Professeur C. FRAYSSE**

**Assesseur : Monsieur le Professeur W. BOHNE**

**Assesseur : Monsieur le Docteur S. RENAUDIN**

**Assesseur : Monsieur le Docteur J. DENIAUD**

**Directeur de thèse : Monsieur le Docteur J. DENIAUD**

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>6</b>
<b>1. GENERALITES SUR LA CROISSANCE ET LA MATURATION : RAPPELS.....</b>	<b>7</b>
1.1. DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET MATURATION.....	7
1.1.1. Terminologie.....	7
1.1.2. Facteurs impliqués dans la croissance.....	8
1.1.2.1. Les facteurs intrinsèques.....	8
1.1.2.1.1. L'héritabilité des caractères.....	8
1.1.2.1.2. Les facteurs endocriniens.....	9
1.1.2.1.2.1. L'hormone de croissance (GH).....	9
1.1.2.1.2.2. Hormones thyroïdiennes.....	10
1.1.2.1.2.3. Glucocorticoïdes.....	10
1.1.2.1.2.4. Hormones sexuelles.....	10
1.1.2.2. Les facteurs extrinsèques.....	11
1.1.2.2.1. Facteur nutritionnel.....	11
1.1.2.2.2. Facteur socio-économique.....	11
1.1.2.2.3. Facteur climatique.....	11
1.1.2.2.4. Facteurs psychoaffectifs.....	11
1.1.2.2.5. Facteurs socioprofessionnels.....	11
1.1.2.3. Le rôle des dents.....	11
1.1.2.4. Le rôle des muscles et des nerfs.....	12
1.1.3. Démarche statistique.....	12
1.1.3.1. Notion de normalité.....	12
1.1.3.2. Corrélations statistiques.....	13
1.1.3.3. Evolution des corrélations statistiques.....	14
1.1.4. Courbes de croissance.....	15
1.1.4.1. Définition.....	16
1.1.4.2. Critique des courbes moyennes de croissance.....	16
1.1.5. Déroulement de la croissance physiologique.....	17
1.1.5.1. Croissance de la population.....	17
1.1.5.2. Croissance de l'individu.....	18
1.1.5.2.1. Périodes de croissance.....	18
1.1.5.2.1.1. La période ante-natale ou intra-utérine.....	18
1.1.5.2.1.2. La période post-natale.....	18
1.1.5.2.2. Loi d'allométrie.....	19
1.1.5.2.3. Caractère saltatoire de la croissance.....	20
1.1.5.2.4. Croissance staturale et croissance faciale.....	21
1.1.5.2.4.1. Considérations générales sur la croissance staturale.....	21
1.1.5.2.4.2. Considérations générales sur la croissance faciale.....	21
1.1.5.2.5. Pic de croissance pubertaire.....	22
1.1.5.2.5.1. Considérations générales.....	22
1.1.5.2.5.2. Pic pubertaire statural.....	23
1.1.5.2.5.3. Pic pubertaire facial.....	26
1.1.5.2.6. Existe-t-il une relation entre croissance faciale et croissance staturale ?... ..	27
1.1.5.2.7. Fin de la croissance.....	29
1.1.5.3. Croissance du tissu osseux.....	30
1.1.6. Croissance pathologique.....	31
1.1.6.1. Etiologies d'un retard de croissance staturale.....	31
1.1.6.1.1. Origine génétique.....	31
1.1.6.1.1.1. Les anomalies chromosomiques.....	31
1.1.6.1.1.2. Les anomalies moléculaires.....	31
1.1.6.1.2. Origine hormonale.....	32
1.1.6.1.2.1. L'insuffisance thyroïdienne.....	32
1.1.6.1.2.2. L'hyperthyroïdie.....	32
1.1.6.1.2.3. L'insuffisance hypophysaire (GH, TSH, Stéroïdes... ..)	32
1.1.6.1.3. Origine métabolique.....	32
1.1.6.1.3.1. Malnutrition.....	32

1.1.6.1.3.2. Rachitisme.....	32
1.1.6.1.4. Origine environnementale.....	33
1.1.6.2. L'enfant diabétique insulino-dépendant (DID).....	33
1.1.6.2.1. Généralités.....	33
1.1.6.2.2. Effets sur l'os et sa croissance.....	33
1.2. LES MATURATIONS.....	34
1.2.1. <i>Maturation sexuelle</i> .....	34
1.2.2. <i>Maturation dentaire et âge dentaire</i> .....	35
1.2.2.1. Facteurs physiologiques de variation.....	35
1.2.2.2. Facteurs pathologiques de variation.....	36
1.2.2.3. Corrélation avec la maturation squelettique dans la littérature.....	37
1.2.3. <i>Maturation osseuse et âge osseux</i> .....	37
1.2.3.1. « Age osseux ».....	38
1.2.3.2. Indicateurs de maturation.....	39
1.2.3.3. Facteurs de variation.....	40
1.2.3.4. Relations avec les croissances faciales et staturales.....	41
<b>2. MOYENS D'EVALUATION DE LA MATURATION D'UN ENFANT.....</b>	<b>43</b>
2.1. PRE REQUIS A L'EVALUATION.....	43
2.1.1. <i>Méthodes auxologiques</i> .....	43
2.1.2. <i>Critères de choix d'un indicateur biologique</i> .....	43
2.2. L'AGE CHRONOLOGIQUE OU AGE CIVIL.....	45
2.3. LES INDICATEURS SEXUELS.....	46
2.3.1. <i>Les premières règles</i> .....	46
2.3.2. <i>La mue de la voix</i> .....	46
2.4. LA TAILLE STATURALE ET LA COURBE DE CROISSANCE INDIVIDUELLE.....	47
2.4.1. <i>Méthode d'enregistrement</i> .....	47
2.4.1.1. Le recueil des mensurations.....	47
2.4.1.2. Construction de la courbe individuelle de l'enfant.....	48
2.4.2. <i>Evaluation statistique / Intérêt scientifique</i> .....	48
2.4.3. <i>Avantages</i> .....	48
2.4.4. <i>Inconvénients</i> .....	50
2.4.5. <i>Conclusion</i> .....	50
2.5. L'AGE DENTAIRE.....	51
2.5.1. <i>Stades d'éruption</i> .....	51
2.5.1.1. <i>Méthode</i> .....	51
2.5.1.2. <i>Avantages</i> .....	53
2.5.1.3. <i>Inconvénients</i> .....	54
2.5.1.4. <i>Conclusion</i> .....	54
2.5.2. <i>Stades de calcification</i> .....	54
2.5.2.1. <i>Méthodes</i> .....	54
2.5.2.2. <i>Avantages</i> .....	58
2.5.2.3. <i>Inconvénients</i> .....	58
2.5.2.4. <i>Conclusion</i> .....	58
2.6. L'AGE SQUELETTIQUE.....	59
2.6.1. <i>Classification</i> .....	59
2.6.1.1. <i>Selon la méthodologie employée</i> .....	59
2.6.1.1.1. <i>Méthodes métriques</i> .....	59
2.6.1.1.2. <i>Méthodes quantitatives</i> .....	60
2.6.1.1.2.1. <i>Description</i> .....	60
2.6.1.1.2.2. <i>Inconvénients</i> .....	60
2.6.1.1.3. <i>Méthodes chronologiques</i> .....	60
2.6.1.1.3.1. <i>Description</i> .....	60
2.6.1.1.3.2. <i>Avantages</i> .....	60
2.6.1.1.3.3. <i>Inconvénients</i> .....	61
2.6.1.1.4. <i>Méthodes qualitatives</i> .....	61
2.6.1.1.5. <i>Méthodes des cotations</i> .....	62

2.6.1.2. Selon la zone radiographiée .....	63
2.6.1.2.1. Radio du poignet (carpe) .....	63
2.6.1.2.1.1. Technique de prise des clichés radiographiques .....	64
2.6.1.2.1.2. Lecture des clichés radiographiques.....	64
2.6.1.2.1.3. Interprétation des résultats .....	64
2.6.1.2.1.4. Avantages .....	64
2.6.1.2.1.5. Inconvénients .....	64
2.6.1.2.1.6. Conclusion.....	65
2.6.1.2.2. Radio de la main.....	65
2.6.1.2.2.1. Technique de prise des clichés radiographiques .....	65
2.6.1.2.2.1.1. Radio de la main et du poignet .....	65
2.6.1.2.2.1.2. Radio localisée à l'aide du cône dentaire.....	66
2.6.1.2.2.2. Méthode d'analyse qualitative.....	67
2.6.1.2.2.2.1. Atlas de Greulich et Pyle.....	67
2.6.1.2.2.2.1.1. Lecture des clichés radiographiques .....	68
2.6.1.2.2.2.1.2. Interprétation des résultats.....	69
2.6.1.2.2.2.1.3. Avantages.....	69
2.6.1.2.2.2.1.4. Inconvénients.....	69
2.6.1.2.2.2.2. Atlas de Sempé et Pavia.....	70
2.6.1.2.2.2.2.1. Lecture des clichés radiographiques .....	70
2.6.1.2.2.2.2.2. Interprétation des résultats.....	72
2.6.1.2.2.2.2.3. Avantages.....	73
2.6.1.2.2.2.2.4. Inconvénients.....	73
2.6.1.2.2.2.2.5. Synthèse des avantages et inconvénients des atlas : .....	73
2.6.1.2.2.2.3. Méthode de Björk.....	74
2.6.1.2.2.2.3.1. Lecture des clichés radiographiques .....	74
2.6.1.2.2.2.3.2. Interprétation des résultats.....	76
2.6.1.2.2.2.3.3. Avantages.....	77
2.6.1.2.2.2.3.4. Inconvénients.....	77
2.6.1.2.2.2.4. Méthode de Fishman .....	77
2.6.1.2.2.2.4.1. Lecture des clichés radiographiques .....	77
2.6.1.2.2.2.4.2. Interprétation des résultats.....	79
2.6.1.2.2.2.4.3. Avantages.....	81
2.6.1.2.2.2.4.4. Inconvénients.....	81
2.6.1.2.2.3. Méthode des cotations.....	81
2.6.1.2.2.3.1. Méthode de cotation de Tanner & Whitehouse .....	81
2.6.1.2.2.3.1.1. Lecture des clichés radiographiques .....	82
2.6.1.2.2.3.1.2. Interprétation des résultats.....	84
2.6.1.2.2.3.1.3. Avantages.....	85
2.6.1.2.2.3.1.4. Inconvénients.....	85
2.6.1.2.2.3.2. Méthode de cotation de Sempé .....	85
2.6.1.2.2.3.2.1. Lecture des clichés radiographiques .....	85
2.6.1.2.2.3.2.2. Interprétation des résultats.....	88
2.6.1.2.2.3.2.3. Avantages et inconvénients .....	88
2.6.1.2.2.3.3. Comparaison des méthodes de cotation.....	88
2.6.1.2.2.3.3.1. Dans la méthodologie .....	88
2.6.1.2.2.3.3.2. Dans les résultats .....	88
2.6.1.2.2.3.4. Méthodes focalisées sur un os ou une articulation.....	91
2.6.1.2.2.3.4.1. Sésamoïde du pouce .....	92
2.6.1.2.2.3.4.2. Articulation inter phalangienne proximale du médus (MP3).....	94
2.6.1.2.2.3.4.3. Articulation inter phalangienne distale du pouce (DP1) .....	95
2.6.1.2.2.3.4.4. Méthode des trois doigts : pouce, index et majeur. ....	95
2.6.1.2.2.3.5. Conclusion.....	96
2.6.1.2.3. Radio du genou .....	97
2.6.1.2.4. Radio de la hanche.....	97
2.6.1.2.5. Radio du coude .....	97
2.6.1.2.5.1. Rappel anatomique .....	97

2.6.1.2.5.2. Technique de prise des clichés radiographiques .....	98
2.6.1.2.5.3. Lecture des clichés radiographiques.....	99
2.6.1.2.5.4. Interprétation des résultats .....	100
2.6.1.2.5.5. Avantages .....	101
2.6.1.2.5.6. Inconvénients .....	102
2.6.1.2.6. Radio des vertèbres.....	102
2.6.1.2.6.1. Technique de prise des clichés radiographiques .....	103
2.6.1.2.6.2. Méthode de Lamparski .....	104
2.6.1.2.6.3. Méthode de Hassel & Farman .....	105
2.6.1.2.6.4. Méthode de Baccetti et Franchi .....	106
2.6.1.2.6.5. Méthode de Mito.....	107
2.6.1.2.6.6. Méthode de San Roman.....	108
2.6.1.2.6.7. Avantages de la radio des vertèbres.....	110
2.6.1.2.6.8. Inconvénients de la radio des vertèbres .....	110
2.6.2. <i>Analyse statistique et comparaison de toutes ces méthodes</i> .....	111
2.6.3. <i>Conclusion : détermination pratique de la maturation osseuse en clinique</i> <i>quotidienne</i> .....	112
2.6.3.1. Considérations générales.....	112
2.6.3.2. La proposition de Rohr .....	112
2.6.3.3. Essai de proposition .....	113
<b>3. APPLICATIONS EN ODF.....</b>	<b>115</b>
3.1. APPLICATION DIAGNOSTIQUE .....	115
3.1.1. <i>Orientation du diagnostic</i> .....	115
3.1.2. <i>Pourquoi situer l'enfant sur sa courbe de croissance ?</i> .....	116
3.2. APPLICATION PRONOSTIQUE .....	118
3.2.1. <i>Pronostic du pic pubertaire</i> .....	119
3.2.1.1. Généralités.....	119
3.2.1.2. Méthodes .....	119
3.2.2. <i>Pronostic des dimensions staturales et faciales adultes</i> .....	121
3.2.2.1. Généralités.....	121
3.2.2.2. Méthodes d'estimation de la croissance non basées sur l'évaluation de la maturation osseuse .....	122
3.2.2.2.1. Généralités .....	122
3.2.2.2.2. Taille moyenne des parents.....	122
3.2.2.3. Méthodes d'estimation de la croissance basées sur l'évaluation de la maturation osseuse .....	123
3.2.2.3.1. Méthodes des événements d'ossification.....	123
3.2.2.3.2. Méthode du pourcentage de croissance .....	123
3.2.2.3.2.1. Tables de Bayley et Pineau .....	123
3.2.2.3.2.2. Méthode de Fishman.....	125
3.2.2.3.3. Méthode du potentiel de croissance .....	126
3.2.2.3.4. Méthode de régressions multiples de Tanner et Whitehouse.....	126
3.2.2.3.4.1. Description .....	126
3.2.2.3.4.2. Discussion.....	127
3.2.2.3.5. Méthode de la charte de croissance .....	128
3.2.2.3.6. Conclusion.....	129
3.2.3. <i>Pronostic du potentiel de croissance résiduel</i> .....	130
3.2.3.1. Estimation de la quantité de croissance résiduelle.....	130
3.2.3.2. Les superpositions.....	130
3.2.3.2.1. Intérêt.....	130
3.2.3.2.2. Principes.....	131
3.2.3.2.3. Discussion .....	131
3.2.4. <i>Conclusion</i> .....	132
3.3. APPLICATION THERAPEUTIQUE.....	133
3.3.1. <i>Objectifs de traitement</i> .....	133
3.3.2. <i>Début du traitement</i> .....	133

3.3.3. <i>Choix des moyens de traitement</i> .....	136
3.3.3.1. Appareillages orthopédiques .....	136
3.3.3.2. Système de contention .....	137
3.4. APPLICATION A LA RECHERCHE CLINIQUE .....	137
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>139</b>

# INTRODUCTION

Les enfants qui consultent pour la première fois l'orthodontiste, bien que présentant des âges variés, sont par définition des individus en croissance. Si le suivi de la croissance concerne essentiellement le pédiatre, en revanche le potentiel de croissance à venir est une notion qui intéresse au plus haut point l'orthodontiste car il est une variable clé dans la gestion clinique du patient. L'orthodontiste est aussi orthopédiste : il doit évaluer ce potentiel de croissance et en tenir compte pour définir un diagnostic précis et atteindre ses objectifs de traitement.

Il reste à évaluer ce potentiel de croissance. Pour cela, le principe est d'observer un phénomène biologique (la croissance) et d'en tirer un témoin de son évolution. Cette recherche est ancienne puisque Buffon l'évoquait déjà au XVIII<sup>e</sup> siècle dans son *Histoire naturelle de l'homme*. Plus récemment, de nombreux indicateurs de ce type ont été analysés au cours des dernières décennies. Nous nous attacherons à décrire ceux qui nous paraissent les plus à même d'aider le praticien dans sa pratique quotidienne de l'orthopédie dento-faciale, sans prétendre à l'exhaustivité.

Pourquoi évaluer la maturation osseuse ? Et quelle méthode utiliser ? Il nous a paru utile de synthétiser les travaux scientifiques ayant déjà tenté de répondre à ces questions qui restent d'actualité.

Ces deux questions amènent dans un premier temps à préciser la terminologie employée, à différencier la croissance (physiologique et pathologique) d'une part et les maturations (sexuelle, dentaire, osseuse) d'autre part, à évaluer les critères statistiques employés dans la littérature. Dans un second temps, nous nous intéresserons aux techniques d'évaluation de la maturation osseuse par l'intermédiaire de cinq indicateurs biologiques : l'âge civil, l'âge physiologique, l'âge statural, l'âge dentaire, et l'âge osseux. Dans une troisième et dernière partie nous évoquerons l'intérêt que présente l'évaluation de la maturation osseuse dans la démarche clinique orthodontique.

# 1. GENERALITES SUR LA CROISSANCE ET LA MATURATION : RAPPELS

Avant d'aborder les techniques d'évaluation de la maturation osseuse proprement dite, il nous faut rappeler certaines notions élémentaires sur la croissance qui doivent être présentes à l'esprit de celui qui cherche à appréhender son évolution, pour mieux l'évaluer.

## 1.1. Développement, croissance et maturation.

### 1.1.1. Terminologie

La littérature scientifique abonde de termes biologiques très usités comme la croissance, le développement, la maturation, les formes, la morphogenèse, etc., ... Leur emploi est cependant parfois impropre ; il est donc nécessaire de bien connaître leur signification.

Toute recherche sur la croissance implique, pour la mesurer, une «*définition opérationnelle*» (Château, 20) et le choix d'un référentiel adapté à ce que l'on mesure (une unité de temps par exemple).

Pour Château (20), la notion de **développement** est associée aux « changements moléculaires, cellulaires et tissulaires ainsi qu'aux changements des organes et systèmes... » et diffère donc de la notion de croissance. Pour Loreille (64), le terme de développement est moins approprié à la biologie qu'à la géométrie ou l'économie.

Toujours selon Château (20), la **croissance** peut être définie comme « l'augmentation mesurable des dimensions d'un organe, en fait de sa biomasse (eau et graisses exclues) ». Elle résulte de l'assimilation, avec prédominance de l'anabolisme sur le catabolisme. Cependant croissance et multiplication cellulaire ne sont pas toujours liées : il peut y avoir multiplication cellulaire sans croissance et croissance sans multiplication cellulaire (c'est notamment le cas des dents).

Cette distinction n'est pas faite chez Loreille (64), pour qui « la croissance repose sur la multiplication cellulaire depuis la fécondation ». Et se résume à un processus biologique quantitatif. (20, 64).

Selon Bonnefont et al (15), la croissance est « un phénomène biologique fondamental obligatoire, propre à tous les sujets vivants qui peut être défini comme l'augmentation des dimensions du corps ». Chez l'homme elle caractérise la période de l'enfance et de l'adolescence bien qu'elle débute dès la période fœtale.

Attention à ne pas assimiler la croissance à ses indicateurs biologiques (ou marqueurs de croissance) comme la taille staturale ou le poids,... (64)

La **maturation** est le processus de différenciation qui donne accès à la fonction, qui rend fonctionnel un organe. La maturation n'est pas la formation de tissu nouveau mais la consolidation du tissu osseux dans sa forme définitive. (Loreille, 64). La maturation est un caractère qualitatif (20, 64).

Croissance et maturation sont « intimement liées » (Proy et al cités par Bonnefont et al, 15) et sont « deux aspects du même phénomène : le développement physique » (15).

« Bien que mesurables, croissance, maturation, et développement ne sont pas exactement des synonymes » (64).

Pour Sempé (*in* 15) « la maturation est l'ensemble des changements que présente une personne humaine au cours de son enfance et de son adolescence, en fait depuis sa conception jusqu'à l'âge adulte où elle atteint sa maturité. »

Croissance et maturation se côtoient pour réaliser plan défini par le programme génétique et contrarié par le milieu. Il en résulte le phénotype qui témoigne de la manière dont les potentialités du génotype ont pu s'exprimer.

La croissance est parfois confondue avec l'un de ses moyens d'étude : la biométrie qui rassemble les méthodes de mesure et les méthodes statistiques appliquées aux êtres vivants, (Loreille, 64). Sa mesure est du domaine de l'**auxologie**, définie par Sempé comme « la science métrique de la croissance » (Sempé *in* 64). L'auxologie étudie la croissance des mêmes sujets à des intervalles successifs. Elle est à rapprocher de la notion d'étude longitudinale.

Enfin, il nous faut distinguer la **forme** (*shape* en anglais) et la **dimension** (*size* en anglais). La forme est une caractéristique du vivant. Elle est par nature tridimensionnelle. En revanche, la dimension est un terme mathématique utilisé pour mesurer le vivant. Jusqu'à ces dernières années, toutes les dimensions recueillies par la radiographie étaient bidimensionnelles (24). Elles seront probablement tridimensionnelles dans un futur proche.

## 1.1.2. Facteurs impliqués dans la croissance

La croissance est un phénomène extrêmement complexe puisqu'elle intervient chez l'être vivant, à tous les niveaux de son organisation, selon des modalités variables dans le temps et dans l'espace. Pour ce faire, elle est contrôlée par un système de régulation, lui-même très complexe et diversifié. On distingue classiquement :

### 1.1.2.1. Les facteurs intrinsèques

Selon Bonnefont et al (15), ce sont « tous les facteurs qui proviennent de l'organisme lui-même, qu'ils soient influencés ou non par le milieu externe ». Ils rassemblent :

#### 1.1.2.1.1. L'héritabilité des caractères

C'est le degré de contrôle du génome sur les formes et les mensurations d'une génération à l'autre (Loreille, 64). Elle s'intéresse à la corrélation des croissances staturale et faciale entre parents et enfants. L'étude des jumeaux homozygotes et dizygotes a permis d'appréhender ce qui relevait de l'expression du génome ou de l'environnement dans les différentes régions du corps humain. Ainsi la taille staturale « est une variable continue à transmission polygénique », dont la corrélation est maximale avec les parents à 4 ans. L'héritabilité des dimensions faciales est également très forte comme en témoignent les études réalisées sur la transmission de la longueur mandibulaire entre ascendants et descendants (Loreille, 64).

L'influence de l'hérédité est évaluée à 80% par Falkner.

### 1.1.2.1.2. Les facteurs endocriniens

Ils sont sécrétés au niveau d'un tissu et agissent à distance.

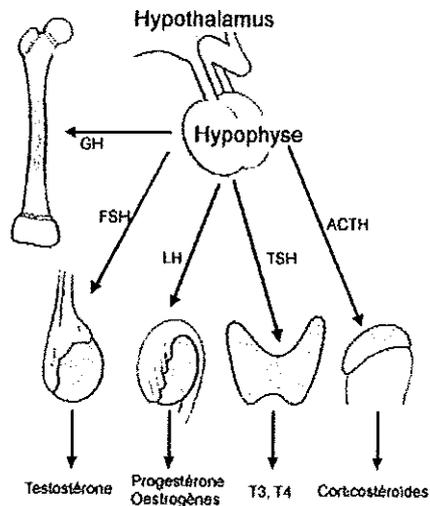


Fig. 1 : d'après Loreille (64)

On distingue les hormones qui sont sécrétées par un tissu organisé au sein d'un organe (glande endocrine) et les facteurs de croissance sécrétés par des cellules diffuses qui peuvent agir par voie endocrine, paracrine ou autocrine.

Au final, ces hormones aboutiront à la phosphorylation de protéines enzymatiques ou membranaires ou à la stimulation/inhibition de la transcription de l'ADN en ARN messager.

Leur effet est variable en fonction :

- De leur concentration sérique
- De leur transformation en forme active
- De la présence de récepteurs spécifiques et du nombre de ces récepteurs , qui varie selon la croissance, l'âge, et le sexe de l'individu.

#### 1.1.2.1.2.1. L'hormone de croissance (GH)

Sécrétée dans l'adéno-hypophyse sous le contrôle de deux neuro-hormones hypothalamiques : le GRF (Growth Releasing Factor) et le GIF (Growth Inhibiting Factor) ou Somatostatine.

La GH a une action anabolisante (accélération du métabolisme) sur la croissance des cartilages. Son action sur les tissus est soit directe, soit indirecte par les IGF (Insuline-like Growth Factor) I et II ou somatomédines.

#### 1.1.2.1.2.2. Hormones thyroïdiennes

Elles co-existent sous deux formes : tri-iodothyronine (T3) ou thyroxine (T4).

Elles sont sécrétées par la thyroïde sous le contrôle de la TSH (Thyroid Stimulating Hormone) adéno-hypophysaire, elle-même sous le contrôle de la TRH (Thyroid Releasing Hormone) hypothalamique.

La T4 est anabolisante et accélère la maturation osseuse et cérébrale. Son action est coordonnée à celle de la GH.

#### 1.1.2.1.2.3. Glucocorticoïdes

Sécrétées par la glande corticosurrénale sous le contrôle de l'ACTH (Adreno-cortico-trophin-hormone) adéno-hypophysaire, elles ont une action stimulante sur le métabolisme sauf en cas d'excès où la croissance est ralentie.

#### 1.1.2.1.2.4. Hormones sexuelles

Avec la puberté apparaissent les hormones sexuelles (androgènes chez le garçon et oestrogènes chez la fille) provoquant la minéralisation progressive des cartilages.

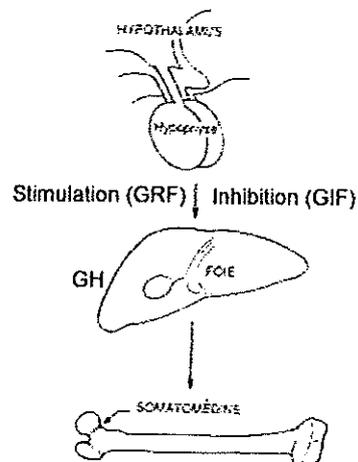


Fig. 2 : d'après Loreille (64)

Selon Sizonenko (*in* 15), l'ensemble des déclenchements hypothalamiques de régulation seraient sous le contrôle de la glande pinéale comparable à une « horloge biologique » qui réglerait les activités cycliques des êtres vivants.

### **1.1.2.2. Les facteurs extrinsèques**

Appelés également facteurs environnementaux, ils influencent l'expression du génome.

#### **1.1.2.2.1. Facteur nutritionnel**

Des apports alimentaires (caloriques et vitaminiques) suffisants sont une condition nécessaire à un développement optimal de l'organisme. Des épisodes de carence auront des conséquences plus ou moins sévères sur la croissance de l'enfant selon la durée et le moment du développement où ils interviennent (15, 64). De même l'obésité par excès d'apports alimentaires génère une croissance et une maturation accélérées par rapport au sujet moyen (15).

#### **1.1.2.2.2. Facteur socio-économique**

Le développement staturo-pondéral de l'enfant est « statistiquement lié aux conditions de vie » : selon Acheson, les enfants uniques de familles aisées citadines sont en moyenne plus grands et plus lourds que les enfants de familles nombreuses, de la campagne, et de condition modeste (15). De même, les enfants premiers-nés sont statistiquement plus grands et plus lourds que leur fratrie (64). D'une manière générale, l'abondance de la nourriture associée à des soins médicaux attentifs sont favorables à la croissance (Bielicki et Waliszko, *in* 64).

#### **1.1.2.2.3. Facteur climatique**

L'ensoleillement a une influence sur la croissance : les enfants vivant dans des régions très ensoleillées ont une taille staturale plus élevée. (Béry *in* 15; Loreille, 64).

#### **1.1.2.2.4. Facteurs psychoaffectifs**

L'environnement familial, s'il est délétère, peut ralentir la croissance physiologique qui rattrape son retard une fois l'enfant placé dans un milieu favorable (15, 64).

#### **1.1.2.2.5. Facteurs socioprofessionnels**

Les métiers manuels, dont la formation commence souvent chez l'adolescent encore en croissance, aboutissent à une taille adulte diminuée par rapport à celle des enfants poursuivant des études chez qui l'activité physique ne vient pas contrarier le potentiel de croissance (64).

### **1.1.2.3. Le rôle des dents**

Les dents ont un rôle majeur dans le développement osseux. Leur action commence *in utero* chez le fœtus de 7 semaines. Rappelons qu'à cet âge les germes incisifs occupent la presque totalité de l'espace sous-périoste du prémaxillaire, et « disposés dans le périoste comme un sac de billes », ils repoussent le tissu osseux, soulevant les cryptes dentaires (Talmant, 92). L'os alvéolaire en est aussi un bon exemple : il apparaît avec la dent et disparaît après la chute de la

dent. Il n'est qu'une conséquence de la croissance dentaire (Château parle de « pur produit fonctionnel », 20).

#### 1.1.2.4. Le rôle des muscles et des nerfs

La croissance du tissu musculaire strié squelettique comprend trois phases :

*Différenciation, multiplication, et allongement cellulaire.*

Il faut remarquer que la mise en place du tissu musculaire précède celle du tissu osseux et en est donc indépendante dans un premier temps. Une fois le tissu osseux en place, les insertions musculaires deviennent les interfaces entre ces deux tissus qui s'adapteront l'un à l'autre au fur et à mesure de la croissance (20).

Le tissu nerveux a un rôle inducteur primordial comme en témoigne la théorie de Laude sur la morphogenèse des maxillaires selon les « axes neuraux » ou bien l'hypothèse de Moss et Ricketts selon laquelle la mandibule croît selon une spirale logarithmique tracée par le nerf dentaire inférieur (20).

### 1.1.3. Démarche statistique

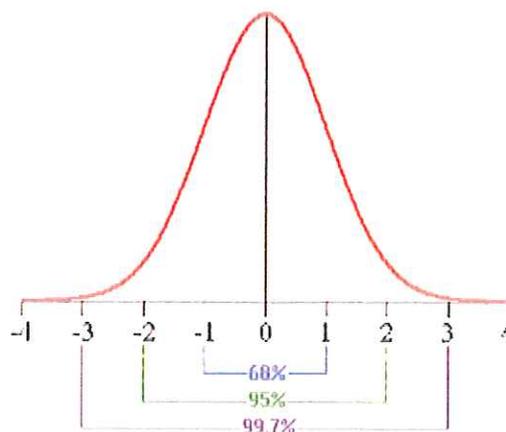
Une fois les mensurations effectuées sur le sujet (biométrie), les données sont ensuite traitées selon les lois mathématiques statistiques en vigueur.

Il nous paraît utile de rappeler quelques notions essentielles avant d'aborder les courbes de croissance.

#### 1.1.3.1. Notion de normalité

La notion de normalité traduit la possession d'un caractère communément observé dans une population. On parle alors de **norme**. Est « normal » ce qui est ordinairement observé. Ce qui n'est pas « normal » est « anormal » (Loreille, 64)

Cette notion repose sur l'examen préalable d'un groupe pris comme référence et à partir duquel sera définie la normalité. La distribution d'un caractère normal est illustrée par la courbe de Gauss (cf. fig. 3).



**Fig. 3 : courbe de Gauss.**

En terme de croissance, l'**anomalie** est communément définie au-delà de plus ou moins deux déviations standard. Elle concerne donc 5 % de la population.

La loi normale permet ainsi de comparer :

- plusieurs groupes entre eux
- un individu à un groupe de référence pour peu qu'ils aient un ou plusieurs caractères en commun (même âge, mêmes conditions de vie, même répartition géographique, etc., ...)

Il faut cependant s'interroger sur la validité d'un concept de normalité appliqué à des caractères biologiques dont la séquence de développement varie selon chaque enfant.

### 1.1.3.2. Corrélations statistiques

L'établissement des courbes de croissance pour chaque individu a permis de mettre en valeur l'existence du pic pubertaire et sa constance. Les travaux de Björk et Helm ont également mis l'accent sur l'existence d'une **corrélation** étroite entre les vitesses de croissance staturale, maxillaire, et mandibulaire (cf. fig. 4).

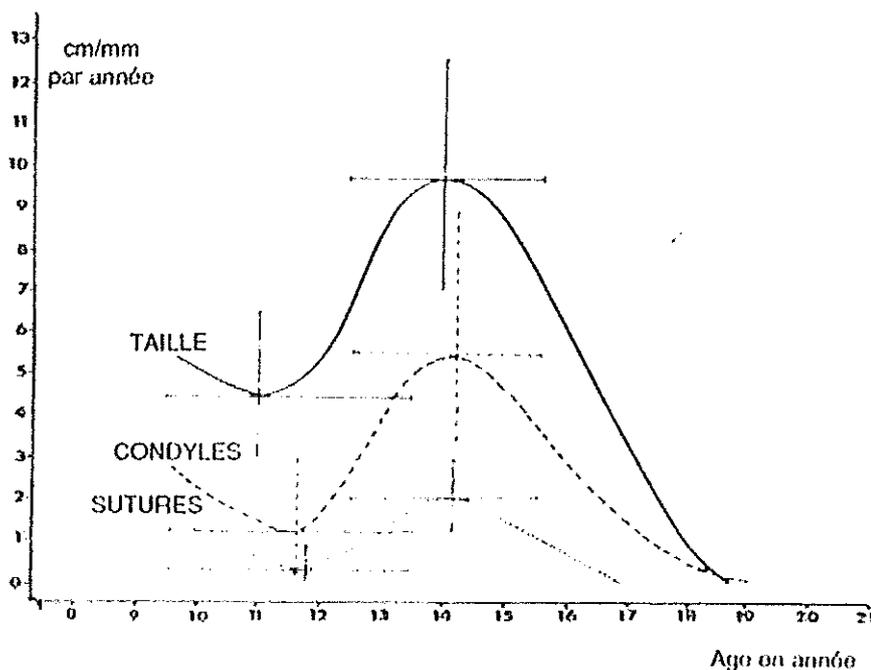


Fig. 4 : d'après Björk (13)

Cette corrélation avait déjà été mise en évidence par Hunter en 1966 pour qui la poussée de croissance staturale correspond à la poussée de croissance faciale.

Établir une corrélation, c'est révéler un lien statistiquement significatif entre deux caractères mesurables ou descriptifs (Château, 20).

Par définition, une corrélation entre deux variables égale à 0.5 signifie que 25% d'une variable est expliqué par l'autre variable. D'autre part, rappelons que si un pic est « statistiquement

significatif » il n'en est pas pour autant « cliniquement significatif » (Moore, 73). Ces deux notions sont indépendantes (Hunter, 52).

### 1.1.3.3. Evolution des corrélations statistiques

Les premiers tests de corrélation utilisés ont été le test de  $r$  de Pearson dans le cas de variables mesurables, le test de  $t$  de Student, et le test du  $\chi^2$  dans le cas de caractères descriptifs (Château, 20).

Les méthodes de corrélation statistique ont évolué avec le temps, et les corrélations utilisées dans les publications des années 60 ont fait suite à des méthodes de corrélation mathématique de plus en plus complexes :

- Les ellipses équiprobables
- Les analyses factorielles en composante principale

Ces corrélations statistiques ont, par leurs résultats, justifié l'étude de la croissance staturale dans l'optique de mieux connaître la croissance mandibulaire (qui intéresse l'orthodontiste au premier plan) et surtout d'espérer la prévoir dans une certaine mesure.

Il faut cependant rester vigilant quant à l'interprétation qui est faite à partir des corrélations statistiques. En effet le caractère significatif de ces analyses dépend beaucoup de la méthodologie utilisée :

- Choix de l'échantillon

**Critères de sélection.** La plupart des études scientifiques de la littérature portent sur des échantillons de population très différents et dont on ne connaît pas toujours les critères de recrutement (âge, présence ou non d'une pathologie, maturation avancée ou retardée,...).

**Quantité de l'échantillon.** Certaines études portent sur un nombre très restreint d'enfants si bien qu'elles ne sont pas statistiquement significatives, c'est le cas des études de Hagg et Taranger (*in* 15) ainsi que Thompson et Popovich (*in* 15). La diminution des effectifs au cours de l'étude n'est pas toujours prise en compte et biaise la qualité des résultats. Les études longitudinales nécessitant d'étudier des enfants sur une très longue période (de la naissance à l'âge adulte) sont très contraignantes. Il devient alors difficile d'obtenir un échantillon statistiquement représentatif (Bonfont et al, 15).

- Groupe pris comme référence (Tables)
- Modèle mathématique utilisé
- Hypothèses biologiques posées (Benso, 10).

Il faut considérer à ce sujet qu'une approche rigoureuse de la croissance nécessite de distinguer :

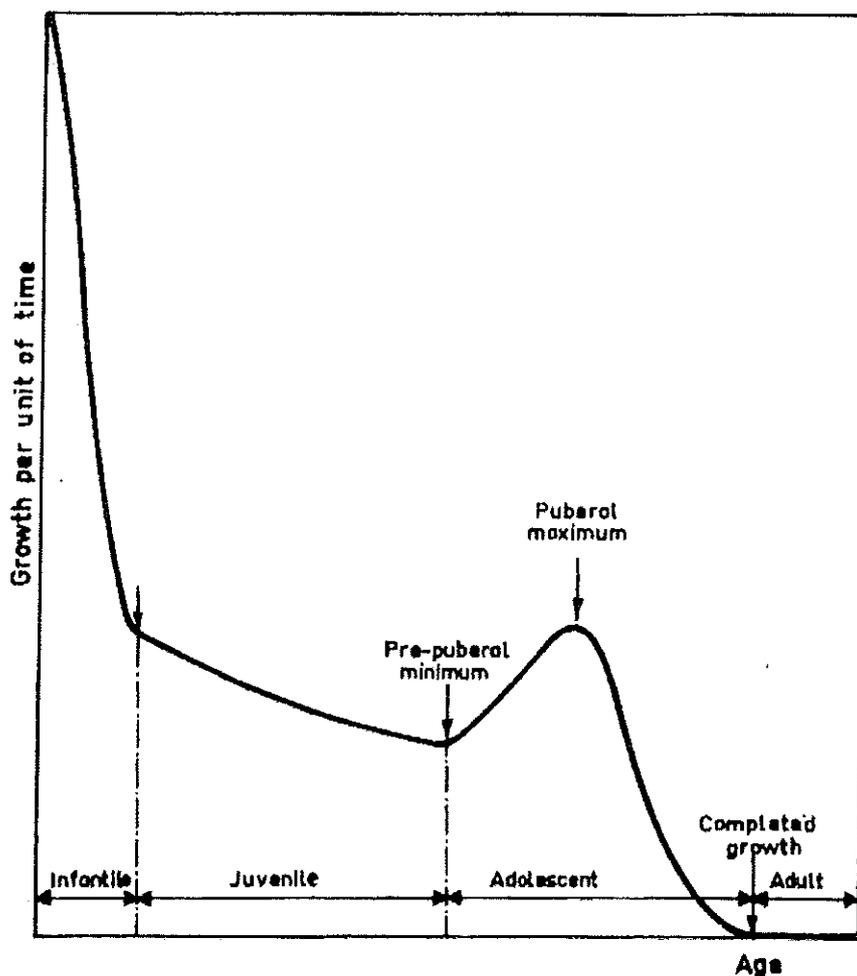
- **La vitesse de croissance**, qui est pour Langlade la « mesure comparative de la vitesse relative des changements visibles pendant une période de temps » (15)

Pour Sempé c'est le « nombre de centimètres ou de millimètres acquis par semestre ou par année ». Il préfère le terme d'**accroissement**, pour ne pas confondre la vitesse avec l'**accélération de croissance** qui est le « nombre de centimètres ou de millimètres acquis par année ou par semestre par rapport au nombre acquis l'année précédente » (15).

- Le **taux de croissance**, qui est pour Langlade la quantité de croissance totale entre deux périodes de temps (15).
- Le **rythme de croissance**, qui est le taux de croissance ramené à l'unité de temps (15).

### 1.1.4. Courbes de croissance

Les travaux les plus connus des orthodontistes sont ceux de Björk et Helm (1967) qui ont réalisé une analyse longitudinale de la taille staturale sur un échantillon de 52 enfants danois. Leur étude a abouti à la représentation graphique de la variation de la taille staturale en fonction du temps (13) qui a pris le nom de « courbes de croissance ».



**Fig. 5 : Courbe de vitesse moyenne de croissance, d'après Björk et Helm (14)**  
Cette courbe définit 3 périodes caractérisées par des vitesses de croissance différentes :  
périodes infantile, juvénile, et adolescente.

### 1.1.4.1. Définition

Si l'on se réfère aux définitions précédentes c'est une **courbe de vitesse de croissance** (Loreille, 64), et non une courbe de croissance. Mais la littérature a consacré le terme « **courbe de croissance** » comme générique. Benitah (*in* 15), parle lui de « courbe d'itinéraire de taille ».

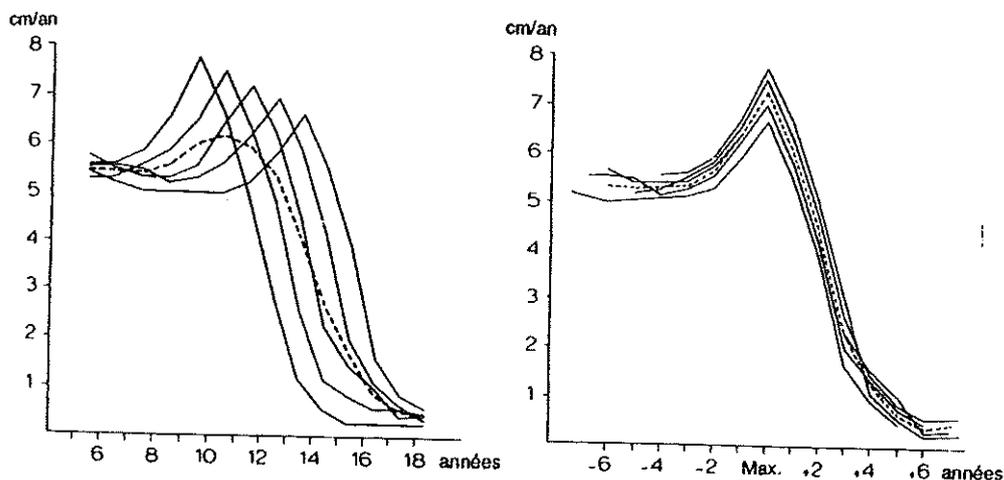
La courbe de croissance staturale traduit un accroissement annuel (Altounian, 5).

Selon Björk, le taux de croissance est à peu près constant et à son plus bas niveau pendant la période juvénile. La courbe de croissance définie par les travaux de Björk et Helm est une courbe lissée qui représente la moyenne statistique des courbes individuelles d'un petit échantillon danois.

### 1.1.4.2. Critique des courbes moyennes de croissance

En conséquence cette courbe :

- En masquant les courtes périodes d'accélération ou de ralentissement de croissance que l'on trouve sur les courbes individuelles, diminue sa précision jusqu'à déformer l'évolution réelle de la croissance et son caractère saltatoire (Bonfont et al 15; Loreille, 64).
- Pousse à s'interroger sur la signification d'une courbe moyenne de poussée pubertaire puisque celle-ci se produit à des âges différents chez des enfants différents. Dans l'optique d'obtenir une courbe moyenne représentative de l'échantillon, Shuttleworth préconisait en 1937 de superposer les courbes individuelles en prenant comme référence les pics pubertaires individuels (cf. fig. 6a et 6b).



**Fig. 6a et 6b : Courbes individuelles (trait plein) et moyenne (pointillés) d'après Bonfont et al (15). Selon que les courbes individuelles sont disposées selon l'âge civil (6a) ou par rapport au pic pubertaire (6b), la courbe moyenne résultante n'a pas le même aspect.**

- Synthétisant l'étude de 52 enfants danois des années 60, n'est pas directement applicable à n'importe quel enfant ou échantillon d'une part à cause du facteur géographique (facteur extrinsèque au développement de l'enfant) et d'autre part parce

que depuis les années 60 le schéma de croissance des enfants a globalement évolué (cf. *croissance de la population* (1.1.5.1)).

- Censée représenter le rythme de croissance de n'importe quel enfant, n'est probablement la courbe de croissance d'aucun enfant, puisque chacun possède une séquence unique de développement qui lui est propre (cf. 1.1.3.1 : *notion de normalité*).

Plus généralement, l'examen de la littérature montre que les variations des courbes de croissance d'une étude à l'autre reflètent la grande hétérogénéité qui existe dans la méthodologie des études cliniques. Ainsi pour Château (20) et Riolo (*in* 15) l'échelle de la courbe magnifie la réalité du phénomène.

## 1.1.5. Déroulement de la croissance physiologique

Notre but est ici de rappeler les grandes lois de la croissance qui interviennent ensemble dans le développement de l'enfant depuis sa conception jusqu'à l'âge adulte.

Il est utile de remarquer que l'étude de la croissance ne montre pas la même chose selon que l'on s'intéresse à la population, à l'individu, ou à son tissu osseux d'une part, à la croissance staturale ou à la croissance faciale d'autre part.

### 1.1.5.1. Croissance de la population

L'examen des données démographiques recueillies depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en Europe notamment grâce à la mensuration systématique des conscrits révèle :

*L'augmentation de la taille staturale moyenne* depuis le début du siècle dernier (15, 32, 64, 73) grâce à l'amélioration constante des conditions de vie. Loreille (65) parle d'« avancée séculaire » de la croissance, cet adjectif signifiant en démographie et en anthropologie « *sur une longue période de temps* ». Cette augmentation est d'environ 1cm tous les 10 ans pour Bonnefont et al (15), 2cm tous les 10 ans pour Sempé et Massé en 1965 (*in* 15) avec un maximum en France dans les années 1970-1980 (Pineau, 1993, *in* 15). La taille maximale moyenne devrait atteindre 1,77m selon Loreille (64), taille correspondant à l'expression complète du génome.

*L'avancée de l'âge de la puberté* (15, 32, 64, 73) avec pour conséquence l'avancement de l'âge du pic pubertaire et de la fin de la puberté. Depuis le milieu du siècle dernier, l'âge du pic pubertaire s'est avancé de 2 ans chez le garçon et d'1 an chez la fille. La fin de la croissance passant de 25 ans à 18 ans chez le garçon, et les premières règles (qui témoignent de la fin de la puberté chez la fille) de 16 ans à 13 ans.

Les conséquences pour le praticien sont les suivantes : (64, 73)

- La puberté n'est pas un phénomène instantané mais dure 2 ou 3 ans.
- La puberté est chronologiquement plus précoce chez la fille.
- Les « standards » déterminés pour une population donnée à un moment donné devraient être mis à jour tous les dix ans en ce qui concerne l'utilisation de la taille staturale (73) et plus souvent encore si l'âge osseux est utilisé pour évaluer le développement (14). Ils imposent donc la prudence quant aux conditions de leur utilisation (Tremolieres et Tanner *in* 15).

## 1.1.5.2. Croissance de l'individu

A l'échelle de l'individu, le développement de l'enfant et sa croissance en particulier répondent à certains principes généraux que nous rappelons.

### 1.1.5.2.1. Périodes de croissance

Le développement de l'enfant se scinde en deux périodes d'inégales durées :

#### 1.1.5.2.1.1. La période ante-natale ou intra-utérine

Elle regroupe la phase embryonnaire (organogenèse) et la phase fœtale (croissance proprement dite). Le développement fœtal est à différencier du développement post-natal parce que le premier est essentiellement sensible à l'environnement utérin alors que le second est déterminé par les facteurs intrinsèques et extrinsèques vus précédemment. Ainsi toute pathologie maternelle compromettant l'apport de substrat au fœtus aura des répercussions directes sur la croissance fœtale. En revanche les hormones ont un rôle mineur dans la croissance fœtale comme en témoignent les hypothyroïdiens et les enfants ayant un déficit congénital de GH qui ont une taille à peu près identique aux sujets sains.

#### 1.1.5.2.1.2. La période post-natale

Pendant cette période, les facteurs déterminants sont dans l'ordre décroissant :

- Les stéroïdes sexuels
- L'hormone de croissance
- L'alimentation.

Bonnefont et al (15) y distinguent 3 phases de croissance :

1. **La petite enfance** (0 à 2-3 ans). La croissance y est très intense (25cm la première année, 12 cm l'année suivante). L'hormone de croissance et le milieu nutritionnel y sont prépondérants.
2. **L'enfance** (2-3 ans à la puberté). La vitesse de croissance devient régulière (en moyenne 5cm et 2 kg par an) puis diminue jusqu'à un « minimum pré-pubertaire ». Pendant cette période, l'hormone de croissance devient prépondérante.
3. **La puberté** ou **adolescence** est la période où les hormones sexuelles entrent en jeu, les gonades devenant fonctionnelles. La croissance s'accélère à nouveau jusqu'à un maximum puis ralentit rapidement jusqu'à la fin de la croissance.

Château (20) distingue 5 époques :

1. La **petite enfance** de 0 à 30 mois ou période de dentition lactéale pendant laquelle la croissance est maximale.
2. La **moyenne enfance** jusqu'à six ans pendant laquelle la croissance est ralentie.

3. La **grande enfance** de six ans jusqu'à la puberté où l'on assiste à une nouvelle reprise de la croissance. C'est la période de dentition permanente.
4. L'**adolescence**. C'est la deuxième période de grande croissance. On y distingue la pré puberté et la puberté proprement dite marquée par l'apparition des caractères sexuels secondaires.
5. La **jeunesse** période de ralentissement de la croissance et d'acquisition du morphotype définitif.

### 1.1.5.2.2. Loi d'allométrie

Le développement d'un organisme s'exprime généralement par une harmonie dans le développement des différentes parties qui le constituent (Grave, 42). Cependant l'enfant n'est pas une miniature de l'adulte et certains organes régressent pendant que d'autres grandissent à des vitesses variables. Ainsi :

- Le système lymphoïde atteint son développement maximum à 6-8 ans puis régresse.
- Les diamètres bi-acromiaux et bi-trochantériens croissent parallèlement à l'allongement corporel.
- Les membres et le tronc connaissent un allongement différentiel et certains segments atteignent rapidement leurs tailles définitives. C'est le cas des pieds. (Chapman, 19).
- À trois ans le cerveau a atteint 80 % de ses dimensions adultes.
- Les organes sexuels ne deviennent fonctionnels qu'à la maturité.

L'allométrie est l'approche scientifique de ce que l'on définit communément comme une « croissance différentielle » d'une partie par rapport à un tout. Un organe pris isolément peut avoir une vitesse de croissance supérieure (allométrie positive) ou inférieure (allométrie négative) au reste du corps. Chez l'homme le taux d'allométrie varie selon un gradient vertical croissant de la tête aux pieds qui permet aux membres inférieurs et au tronc de « rattraper » leur retard sur le crâne (Loreille, 64). C'est ainsi que le rapport segment inférieur / segment supérieur commence à 0,6 à la naissance pour atteindre 1 à la puberté.

Globalement de la naissance à l'âge adulte la hauteur de la tête est multipliée par deux, celle du tronc par trois et la longueur des membres par quatre (cf. fig. 7).

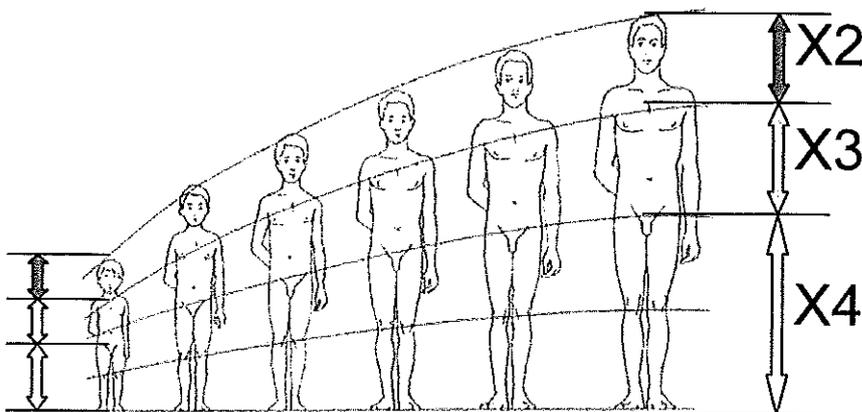


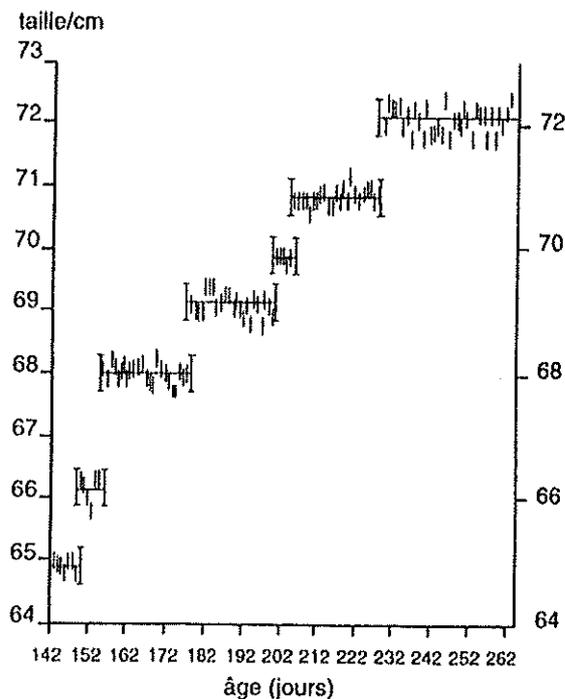
Fig. 7 : Illustration du gradient vertical d'allométrie, d'après Loreille (64).

De même que certaines parties du corps ne grandissent pas à la même vitesse, certains paramètres biométriques ne varient pas au même rythme. Il en est ainsi par exemple de la taille et du poids dont l'asynchronisme est résumé par la loi de dissociation physiologique de Variot.

L'existence de cette loi d'allométrie rend compte de la complexité des phénomènes de croissance qui modifient en profondeur l'architecture corporelle et particulièrement l'architecture cranio-faciale à des degrés variables selon les périodes de croissance.

### 1.1.5.2.3. Caractère saltatoire de la croissance

La croissance d'un enfant n'est pas un phénomène continu dans le temps et quelle que soit la fréquence des mesures elle est le résultat d'une succession de sauts, accélérations, et stagnations (Hermanussen *in* 64).



**Fig. 8 :** Illustration du caractère saltatoire de la croissance d'après Loreille (64). Malgré des mesures quotidiennes, le gain de taille ne concerne que 5% des mesures relevées. Les autres mesures traduisent la stagnation de la croissance.

Les travaux de Stutzmann et Petrovic en 1981 ont conclu à l'existence d'un rythme biologique dans la croissance de l'os alvéolaire humain. La vitesse d'ostéof ormation et d'ostéorésorption étant significativement plus élevée à minuit qu'à midi dans une même journée (**variations nyctémérales**), au printemps qu'à l'automne (**variations saisonnières**). Ainsi Tanner (cité par Loreille, 64) observe que la croissance en taille staturale est 2 à 2.5 fois plus importante au printemps qu'à l'automne.

#### 1.1.5.2.4. Croissance staturale et croissance faciale

##### 1.1.5.2.4.1. Considérations générales sur la croissance staturale

La croissance rachidienne est un phénomène complexe : son potentiel de croissance est variable selon l'étage considéré et diffère aussi d'avant en arrière. Comme les autres segments, sa vitesse de croissance n'est pas linéaire et au sein même d'une vertèbre la croissance de l'arc postérieur est distincte de la croissance du corps (Salagnac et Delaire, 82).

Selon Van Der Linden (*in* 15) les différentes parties du corps n'ayant pas une accélération de croissance simultanée, la taille mesurée à un moment donné n'a pas de valeur significative.

Pour Salagnac et Delaire (82), l'étude de la taille globale ne renseigne pas sur les particularités de la croissance de chaque segment.

Pour Björk (13) la croissance staturale est la variable par laquelle on peut déterminer le maximum de croissance squelettique. La mesure annuelle de la taille staturale est donc recommandée.

##### 1.1.5.2.4.2. Considérations générales sur la croissance faciale

La croissance faciale paraît plus complexe que la croissance rachidienne (Salagnac et Delaire, 82).

De plus, la face est soumise au phénomène d' **homorrhesis** : la trajectoire de croissance peut être modifiée par une cause perturbatrice, et lorsque la cause disparaît on observe une accélération de la croissance, un rattrapage ou « recanalisation » ou « catch-up » en anglais.

Ce phénomène est observable très fréquemment en orthopédie dento-faciale par exemple au niveau mandibulaire après levée d'un obstacle à la croissance sagittale (supraclusion, interposition labiale,...). Plus rarement, dans le syndrome de Robin, on observe une re-conformation de la mandibule et un rattrapage de la croissance après le traitement de la glossoptose.

En 1976 Roche et Lewis cités par Bonnefont et al (15) observent que les garçons sont associés à une croissance importante de la partie antérieure de la base du crâne (avec un maximum entre 12,8 et 14 ans) et que les filles sont associées à une croissance importante de la partie postérieure de la base du crâne (avec un maximum entre 10 et 11,5 ans).

Selon Tallgren (1974) et Björk et Skieller (1974) cités par Bowden (16), la croissance faciale continue après la croissance staturale et change les relations squelettiques selon le type morphologique. Par exemple dans le cas des dysmorphies de classe III la croissance faciale est plus longue. Il existe donc une relation entre la croissance staturale et la croissance faciale mais cette relation varie selon la région de la face.

Mitani et Sato (70) ont établi :

- que les taux de croissance de la mandibule ne se corrélaient, dans le temps, à aucune autre mesure cranio-faciale.
- Que le « timing » et la quantité de croissance sont des paramètres plus variables au niveau mandibulaire qu'à d'autres endroits.

Selon Vallée-cussac (97), qui a réalisé en 1995 une étude transversale sur 182 enfants porteurs de dysmorphies de classe III, les angulations qui déterminent l'orientation de la mandibule (inclinaison du Ramus, angle goniale, plan mandibulaire, angle GoGn/SN) ne sont pas significativement liées à l'âge civil; ce qui signifie que quel que soit l'âge les valeurs angulaires sont supérieures à la moyenne. La dysmorphie de classe III s'installe donc de manière précoce. La mandibule connaît ensuite une évolution tardive plus intense chez les garçons que chez les filles jusqu'à une stabilisation des mesures à un âge compris entre 22 et 25 ans.

Silveira et Fishman (89) confirment l'existence d'une différence de croissance entre la mandibule et le maxillaire à un âge avancé (Période d'observation des SMI 8 à 11 de Fishman, cf. deuxième partie) où la mandibule a une croissance significativement supérieure à celle du maxillaire et ce d'autant plus que l'enfant « rattrape » un retard de croissance.

Pour Fishman cité par Kucukkeles (58), les variations du taux de croissance faciale sont liées à un autre facteur : des altérations dans le processus de maturation.

### 1.1.5.2.5. Pic de croissance pubertaire

#### 1.1.5.2.5.1. Considérations générales

Selon Grave (42), l'asynchronisme de croissance génère au moins deux périodes de croissance rapide séparées par une période moins active appelée « phase plateau ».

Le premier pic commence pendant la vie fœtale et se termine dans l'année qui suit la naissance. Le second pic est pubertaire. Pour la majorité des auteurs ce pic est un phénomène constant, cependant Bonnefont et al (15) ne le retrouvent pas dans leur étude clinique.

Le pic pubertaire est caractérisé par trois paramètres : (41, 42, 51)

- Le **moment du début de l'accélération** de la croissance (« onset » en anglais)
- La **durée** du pic
- Son **intensité** ou **amplitude**

Pour Bergersen (11) il est caractérisé par deux paramètres :

- Le **timing** (qui regroupe début de l'accélération et durée du pic)
- L'**intensité** du pic

D'une manière générale la maturité est atteinte plus rapidement chez les filles que chez les garçons parce que le pic commence plus tôt et dure moins longtemps (Bowden, 16 ; Hagg et Taranger, 47), l'accélération est plus brève et de moindre amplitude chez les filles que chez les garçons (Tofani, *in* 15). Dans son étude sur l'intensité de croissance au moment du pic, Bergersen (11) a observé des différences significatives de croissance (par un test de « t » de Student) au niveau de la taille staturale et de trois variables cranio-faciales (Art-Gn, N-Me, S-Gn) :

- entre l'année avant le pic et la première année du pic
- entre la deuxième année du pic et l'année suivant le pic, où le taux de croissance chute brusquement de moitié (fig. 9).

Résumé de l'intensité de croissance (test de « t » de Student) d'une année à l'autre					
	3° année avant le pic // 2° année avant le pic	2° année avant le pic // 1° année avant le pic	1° année avant le pic // 1° année du pic	1° année du pic // 2° année du pic	2° année du pic // 1° année après le pic
Taille staturale	0.121	1.392	10.789 *	1.266	11.873 *
Art-Gn	1.800	3.226 *	7.605 *	1.601	6.755 *
N-Me	0.398	0.875	5.821 *	0.633	7.884 *
S-Gn	0.894	1.153	10.152 *	1.109	10.112 *

\* Significatif à 1%  
Degré de liberté = 44.

Fig. 9 : Comparaison des quantités de croissance annuelles respectives d'après Bergersen (11).

La durée moyenne de la période pubertaire est identique chez les garçons et chez les filles. Le traitement orthodontique n'a pas d'effet sur le moment d'apparition du pic pubertaire (Hunter, 52).

#### 1.1.5.2.5.2. Pic pubertaire statural

L'âge d'apparition de cette poussée de croissance pubertaire est soumis à de grandes variations. Pour beaucoup d'auteurs un écart de deux ans par rapport à la moyenne est fréquent. Selon Van Der Linden (*in* 15) l'âge d'apparition du pic pubertaire est compris entre 9 et 13 ans chez la fille, 11 et 15 ans chez le garçon.

Nous avons vu que le pic de croissance pubertaire était caractérisé par :

- Son départ.
- Sa durée. Or la durée du pic n'est pas équivalente pour tous les auteurs :

Hunter (52) reprend la méthode de Stolz et Stolz (*in* 14) (cf. fig. 10) qui définit le pic comme étant la période pendant laquelle la croissance est strictement supérieure à la croissance moyenne enregistrée pendant toute la durée de l'étude.

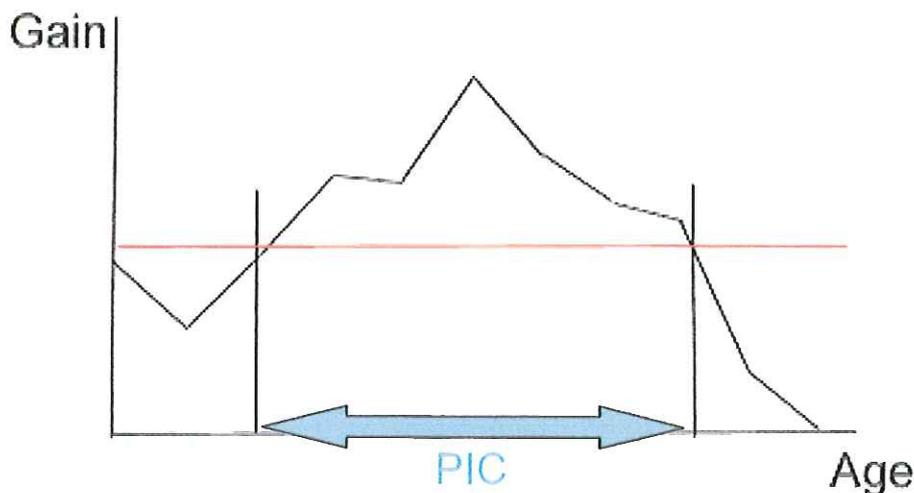


Fig. 10 : Définition du Pic pubertaire d'après Hunter (52).  
La ligne rouge représente l'accroissement moyen en taille.

Cependant pour d'autres auteurs la durée du pic est en moyenne de 2 ans, les limites étant définies a posteriori une fois la courbe individuelle de croissance établie : un an de part et d'autre du maximum de vitesse de croissance (cf. fig. 11).

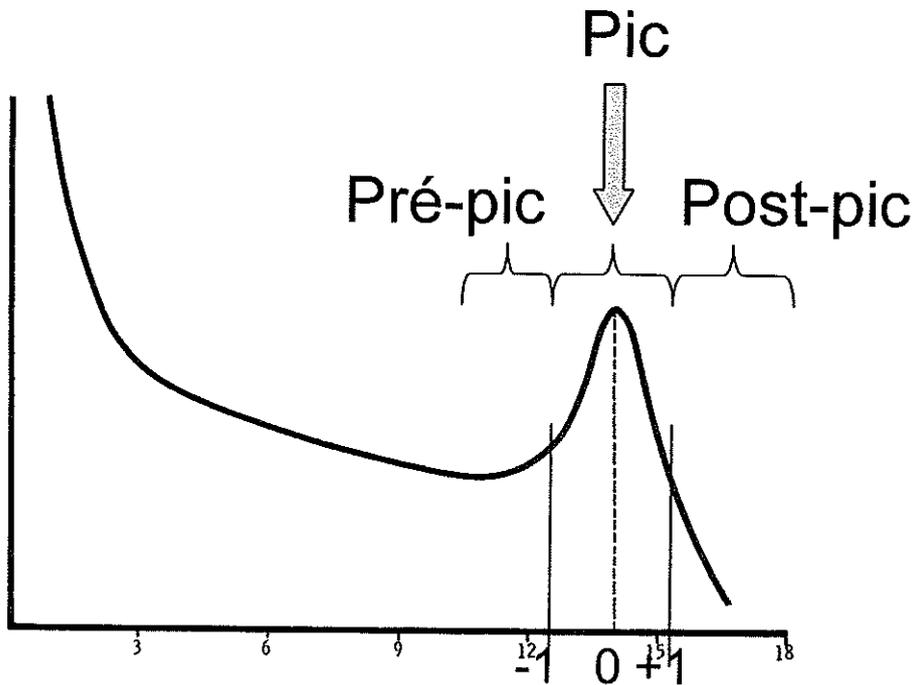


Fig. 11 : d'après Hagg et Pancherz in Bonnefont et al (15).

- Son amplitude : elle est plus grande chez le garçon que chez la fille.

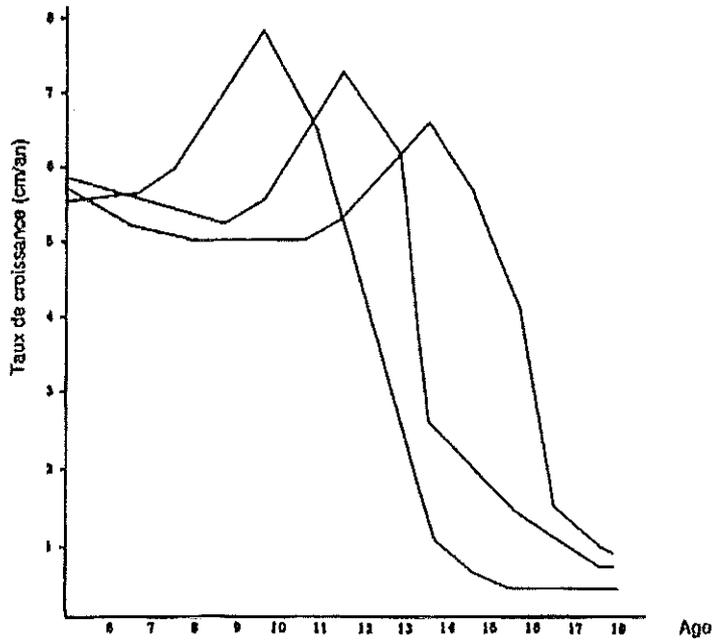
Selon Bergersen (11) le début et la fin du pic varient considérablement d'un individu à l'autre et sont fonction du taux de croissance et de la présence éventuelle de pics de croissance accessoires.

Pour Björk et Helm (14), l'âge au moment du pic varie selon :

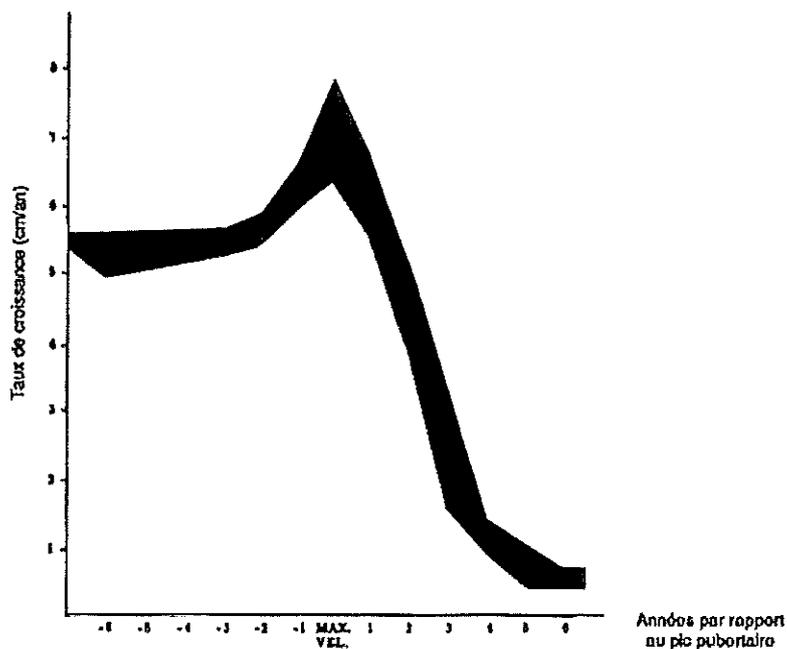
- le sexe
- la génération
- la population et l'environnement
- d'un individu à l'autre

Chez un même individu l'âge du pic de croissance est à peu près le même pour les différentes parties du corps tandis que l'âge de maturité est très différent d'une région à l'autre. Cependant la croissance se termine à différents âges : ainsi la mandibule continue sa croissance après la fin de croissance maxillaire et staturale.

Ces trois paramètres sont également influencés par la vitesse de maturation du sujet, sur laquelle nous reviendrons ultérieurement. C'est ce qu'ont montré Van Der Linden, Krogman, et Burstone (*in 15*) (cf. fig. 12 et 13), et confirmé par Stuart (*in 15*) qui considère que la poussée de croissance est plus précoce chez les enfants de constitution vigoureuse que chez les enfants chétifs (15).



**Fig. 12 : Courbes du taux de croissance staturale de trois filles à maturation précoce, moyenne, et retardée d'après Burstone in Bonnefont et al (15).**



**Fig. 13 : Mêmes courbes centrées sur le pic de croissance. La zone noircie représente la différence de gain de taille entre la fille précoce et la fille retardée. D'après Burstone in Bonnefont et al (15).**

### 1.1.5.2.5.3. Pic pubertaire facial

Woodside cité par Lépine et Guyomard (15), observe plusieurs pics au niveau mandibulaire dont l'un à 6-7 ans chez la fille et 7-9 ans chez le garçon. Malmgren et Tanner cités par Pelosse (77) parle d'une double période d'accélération de croissance mandibulaire et de l'existence d'un « pré-pic » (cf. fig. 11).

Pour Mitani cité par Moore (73), il existe un pic de croissance des dimensions linéaires de la base du crâne, du maxillaire, et de la mandibule et qui coïncident dans 60 % des cas de l'échantillon.

Pour Lewis et al cité par Moore (73), les pics existent au niveau de la base du crâne de la mandibule dans 77 % des cas chez les filles et 85 % des cas chez les garçons.

En 2001, Franchi étudie la croissance mandibulaire (condyle inclus) à l'aide d'une technique morphométrique appropriée (*Thin Plate Spline Analysis*) développée par Bookstein (*in* 36) et permettant de visualiser séparément les changements de forme et de taille au cours de la croissance (36). Il confirme l'existence :

- De changements non significatifs de la forme mandibulaire à tous les stades de croissance sauf entre les stades CVM 3 et 4 (période du pic) où les changements sont significatifs.
- De changements significatifs de taille à toutes les étapes.

À la fin de l'année du maximum de croissance : (Hunter, 52).

- les filles sont en avance sur les garçons en terme de croissance faciale totale.
- Horizontalement : le potentiel de croissance mandibulaire est supérieur au potentiel de croissance du maxillaire et de la base du crâne.
- Verticalement : le potentiel de croissance postérieure est très supérieur au potentiel de croissance antérieure.

La croissance mandibulaire (condylienne) se prolonge au-delà de la croissance staturale et de la croissance suturale maxillaire (Björk, 13 ; Philippe et Choquin *in* 15).

Mitani, Sato, et al (69) ont étudié la croissance mandibulaire pendant trois années post-pubertaires parmi un échantillon de 14 garçons et 20 filles présentant une classe III vraie par rapport à un groupe de référence de 16 garçons et 20 filles. Les mensurations mandibulaires des deux groupes étant significativement différentes au début et à la fin de l'étude, les gains de croissance ont cependant été identiques dans les deux groupes (ex : Cd-Gn augmente de 4.1 mm  $\pm$  2.5 mm dans le groupe des garçons présentant une cl III et de 4 mm  $\pm$  2.6 mm dans le groupe des garçons de référence). Ils en concluent que les caractéristiques morphologiques mandibulaires s'établissent avant le pic pubertaire et sont maintenues après celui-ci.

Pour Bishara et al cité par Moore (73), le pic mandibulaire n'est pas commun : il est exceptionnel et imprévisible.

La littérature n'est donc pas d'accord sur l'existence d'un pic de croissance faciale, sur le timing et l'amplitude d'un tel pic et sur la possibilité de prévoir les changements de la face grâce aux événements de croissance du corps entier. (Moore, 73).

### 1.1.5.2.6. Existe-t-il une relation entre croissance faciale et croissance staturale ?

Cette question sous-entend celle de Benitah : « une meilleure connaissance du développement corporel de l'enfant débouche-t-elle sur une meilleure compréhension de sa croissance faciale » ? Dans l'affirmative, il serait judicieux de situer chaque patient sur sa courbe de croissance staturale.

Cependant les réponses à cette question sont mitigées :

Pour Bergersen, Bery, Björk et Helm, Brodie, Burstone, Hunter, Pike, et Nanda (*in 15*) la corrélation est positive entre le « taux de croissance faciale et le taux de croissance staturale » quand les échantillons sont évalués et classés selon leur âge squelettique et pas selon leur âge civil (cf. 1.2.3 : maturation osseuse).

Pour beaucoup d'auteurs, les pics de croissance staturale et faciale coïncident (Singh et al, Fukuhara et Matsumoto, Björk, Fishman, Nanda, Tofani, Bambha, Burstone *in 15*). (cf. fig. 14).

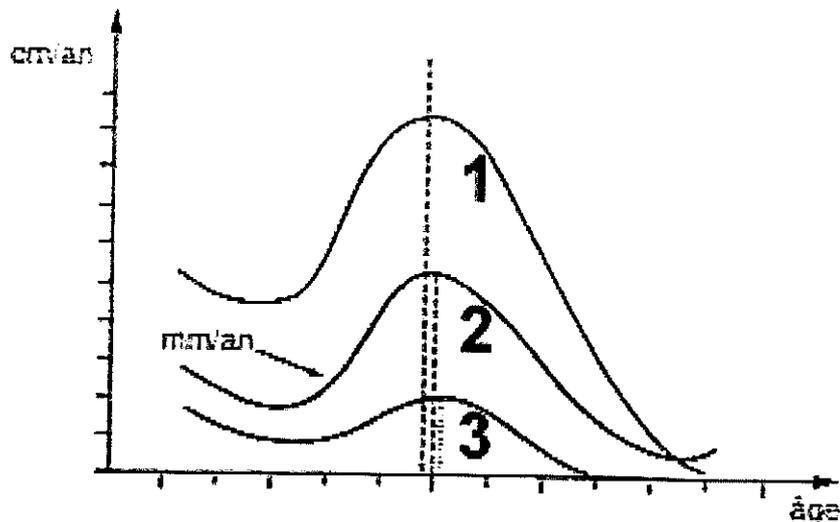


Fig. 14 : Coïncidence temporelle des pics de croissance staturale (1), mandibulaire (2) et maxillaire (3) d'après Björk in Loreille (64).

Plus précisément, les pics de croissance faciale et staturale coïncident pour Hunter, Brown et al, Bergersen, Grave, Thompson et Popovich (Moore, 73) tandis que pour Nanda, Bambha, Baughan et al, et Fishman le pic de croissance staturale précède le pic de croissance faciale de 6 à 12 mois.

Pour Hunter (52), la croissance faciale s'arrête en même temps que la croissance staturale dans 83 % des cas chez les filles et dans 50 % des cas chez les garçons.

Selon Fishman (33), la longueur du corpus mandibulaire d'une part, les mesures céphalométriques et anthropologiques reliant le condyle au menton, et la base du crâne au menton d'autre part, sont significativement corrélées à la taille staturale. Le menton semble donc être une zone intéressante pour relier la croissance cranio-faciale au développement squelettique.

Selon Pelosse (77), la plupart des sujets voient leur pic maxillaire et mandibulaire correspondre au pic statural.

Pour Hunter (52), la longueur mandibulaire est, à travers toute l'adolescence, la valeur la plus reliée à la croissance staturale (corrélation = 0.76). La mandibule grandit à la manière d'un os long.

L'étude de Hagg et Panchez (46) « supporte l'idée d'une similitude entre pic de croissance faciale et de croissance staturale ».

Pour Maj et Luzi, Bonnefont et al (15) la corrélation est négative. Ces derniers, dans leur étude clinique de 1995, concluent à l'indépendance des chronologies d'agrandissement de la taille et des paramètres céphaliques, notamment du paramètre Co-Pog (15).

Vu la grande variété des schémas de croissance, Moore (73) considère que les corrélations entre la face et la taille staturale sont trop faibles pour permettre une prédiction cliniquement significative.

Houston, Stocli, Linder-Aronson, Smith, et Jamison, sont plus circonspects : pour eux le niveau de maturation osseuse n'a qu'une faible influence sur le résultat du traitement. De plus les méthodes d'évaluation osseuse sont trop incertaines.

Pour Béry (*in* 15), le minimum pré-pubertaire de croissance mandibulaire est retardé dans le temps (cf. fig. 15).

En résumé, retenons :

- Que les différentes structures faciales ne subissent pas une accélération de croissance équivalente, ni en quantité, ni en rythme. C'est le Ramus mandibulaire dont le rythme coïncide le plus avec le pic statural. Le corpus mandibulaire est lui plus à rapprocher du maxillaire avec une accélération moins intense et décalée dans le temps d'environ six mois. (Bambha, Bishara et al, Hunter, Singh et al, Thompson et Popovich, Tracy et Savara *in* 15).
- Que les corrélations taille staturale / dimensions faciales sont plus ou moins constantes avec l'âge : entre 0.5 et 0.6. (Van der Beek et al, 98).
- Que les corrélations les plus élevées concernent les vitesses de croissance et non les tailles atteintes à un moment *M*.

Ainsi Van der Beek et al (98) observent :

- une corrélation de 0.8 – 0.9 entre la vitesse de croissance staturale et la vitesse de croissance de S-Go
- une corrélation de 0.6 – 0.85 entre la vitesse de croissance staturale et la vitesse de croissance de Na-Gn
- Que toutes les études montrent de grandes variations individuelles.

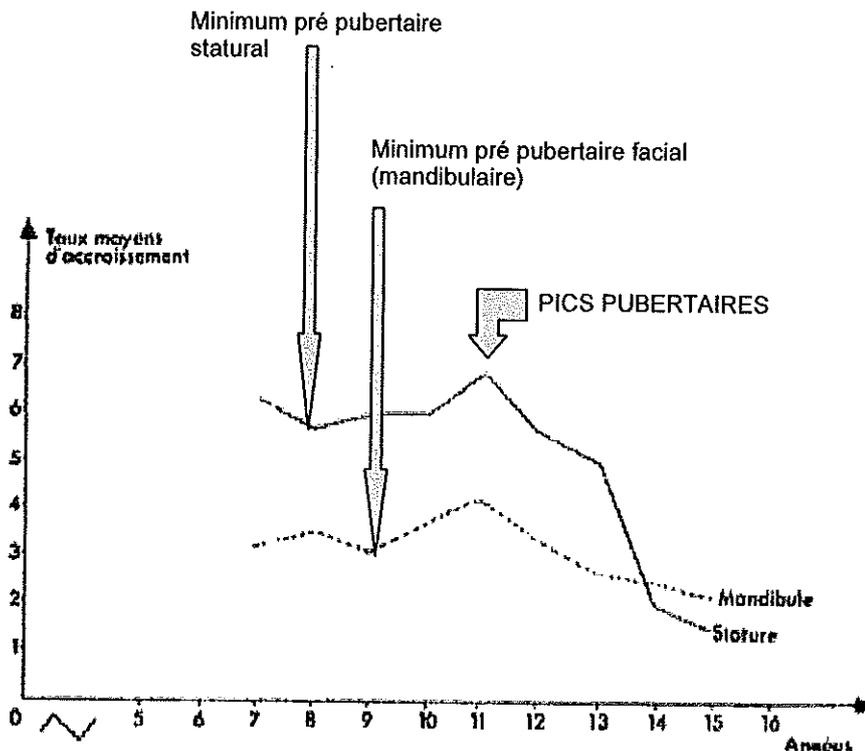


Fig. 15 : Retard du minimum pré pubertaire mandibulaire, d'après Béry in Bonnefont et al (15).

#### 1.1.5.2.7. Fin de la croissance

L'arrêt physiologique de la croissance se produit chez tous les êtres vivants par l'action de médiateurs chimiques issus des glandes endocrines. D'une manière générale la croissance s'arrête lorsque la somme des messages d'inhibition de la croissance est égale à la somme des messages de stimulation de la croissance. Toute anomalie dans l'émission de ces messages génèrera des anomalies de la croissance (retard, excès, cancer,...) (Loreille, 64).

Pour Vizmanos (99), deux facteurs contribuent au gain de taille : le taux de croissance et la durée de la puberté. Le taux de croissance est lié à la maturation des tissus (en particulier du squelette) et permet à la taille finale d'être indépendante du tempo du pic de croissance.

Les auteurs s'accordent à reconnaître l'importance de déceler la fin de la croissance, l'écart entre les filles et garçons pouvant atteindre huit ans.

- Si l'on se réfère aux courbes de croissance, la période post-pubertaire de croissance staturale (portion descendante de la courbe de croissance) commence selon Björk environ un an après le maximum pubertaire alors que la croissance de l'étage supérieur de la face est quasiment terminée. La croissance staturale s'achèvera en moyenne deux ans plus tard, la croissance mandibulaire étant encore plus tardive (14).
- Si l'on se réfère à l'âge civil de l'enfant, la fin de croissance staturale se situe en moyenne :

Chez les garçons :

- Vers l'âge de 18.5 ans  $\pm$  1an pour Ricketts (in 15).

- Vers l'âge de 19.5 ans  $\pm$  1,2 an pour Björk (13).
- Vers l'âge de 19,69 ans pour Bambha (*in* 15).

*Avec des variations allant de 17 à 23 ans.*

Chez les filles :

- Vers l'âge de 14.5 ans  $\pm$  0,6 an pour Ricketts (*in* 15).
- Vers l'âge de 15 ans  $\pm$  0,2 ans pour Björk (13).
- Vers l'âge de 15,6 ans pour Bambha (*in* 15).

*Avec des variations allant de 14 à 23 ans.*

Nous avons vu que les courbes de croissance staturale étaient établies dans l'espoir de *prévoir* le moment où se déclenche le pic de croissance pubertaire. Beaucoup d'études n'ont trouvé aucune relation entre la taille adulte et le tempo du pic de croissance (Bilewicz et Mc Gregor, 1982 ; Zacharias et Rand, 1982 ; Prader, 1984 ; Tanner, 1989 ; Bielicki et Hauspie, 1994 ; Beunen et al, 1994, Qin et al, 1996 ; cités par Koziel, 56).

### 1.1.5.3. Croissance du tissu osseux

Nous n'envisagerons pas ici le phénomène de renouvellement permanent de l'os. Nous rappellerons simplement le principe de l'ostéogenèse.

Le squelette apparaît pendant la vie intra-utérine à partir de deux ébauches : l'une mésenchymateuse (c'est l'ossification de membrane), l'autre cartilagineuse (c'est l'ossification enchondrale).

- L'ossification membraneuse

Elle débute dès la troisième semaine par une condensation de cellules mésenchymateuses qui se différencient en pré-ostéoblastes pendant que la matrice extracellulaire se charge de pré-collagène, de précurseurs des protéoglycanes, de protéines de structure (fibronectine, laminine...).

- L'ossification enchondrale

Initialement, le mésenchyme se densifie formant la blastème dans lequel apparaît une substance interstitielle cartilagineuse embryonnaire puis le tissu devient pré-cartilagineux puis cartilagineux. Cette pièce est provisoire, elle sera remplacée par un tissu osseux primaire (ossification de substitution). Une ossification secondaire re-conditionne la structure osseuse sans modifier l'architecture générale.

La morphogenèse du squelette fœtal débute dès la 8<sup>e</sup> semaine. La segmentation des membres préfigure les futures articulations. A la naissance 79 % de l'ossification du squelette sont accomplis (15).

Après la naissance la notion de croissance du squelette regroupe deux aspects :

- l'accroissement de l'os en longueur ou **allongement**, qui dépend du cartilage.
- l'**épaississement** de l'os par apposition périostée.

Selon les travaux de Pryor (1904), « l'ossification est globalement symétrique malgré quelques variations bilatérales intra individuelles » (*in* 15). Selon Bowden (16), il faut distinguer le fait que des différences marquées existent dans l'ossification du côté droit par rapport au côté gauche (Long et Caldwen, 1911 ; Park, 1954 ; *in* 15) mais uniquement à l'échelle de la population générale ; les différences de timing à l'échelon individuel étant par contre très insignifiantes. (Roche, 1963 *in* 15).

## **1.1.6. Croissance pathologique**

La croissance d'un enfant est médicalement considérée comme pathologique lorsqu'elle s'écarte de plus de deux écart-types des moyennes statistiques établies pour la population. Le premier signe qui peut alerter le praticien (souvent le pédiatre) ou les parents est un retard de croissance staturale.

### **1.1.6.1. Etiologies d'un retard de croissance staturale**

Elles peuvent être :

- Génétiques
- Hormonales
- Métaboliques
- Environnementales

#### **1.1.6.1.1. Origine génétique**

On distingue : (Bonfont et al, 15; Loreille, 64)

##### **1.1.6.1.1.1. Les anomalies chromosomiques**

Elles concernent le nombre des chromosomes et atteignent les *autosomes* (trisomies) ou les *gonosomes* (syndrome de Turner chez la femme et syndrome de Klinefelter chez l'homme) ou sur la structure des chromosomes par délétion, inversion, ou translocation.

##### **1.1.6.1.1.2. Les anomalies moléculaires**

Elles sont dues à des mutations génétiques et affectent le métabolisme des acides aminés, des sucres, des facteurs de coagulation sanguine ainsi que la morphologie de l'individu (malformation des membres, troubles oculaires et auditifs, malformations cranio-faciales et dentaires). On peut citer parmi ces pathologies l'achondroplasie, l'acromégalie, les craniosynostoses de Crouzon et Apert, les dysostoses cléido-crâniennes et les dysplasies épiphysaires ou métaphysaires.

### **1.1.6.1.2. Origine hormonale**

Elle est due à un dysfonctionnement du métabolisme hormonal. Selon l'atteinte, on distingue : (15, 64)

#### **1.1.6.1.2.1. L'insuffisance thyroïdienne**

C'est la cause hormonale la plus fréquente. Elle est due dans 75% des cas à une malformation congénitale de la thyroïde et dans 25% des cas à des troubles de synthèse d'origine génétique.

Le traitement consiste en l'administration d'extraits thyroïdiens.

#### **1.1.6.1.2.2. L'hyperthyroïdie**

A l'inverse, elle aboutit à une taille supérieure à la moyenne.

#### **1.1.6.1.2.3. L'insuffisance hypophysaire (GH, TSH, Stéroïdes...)**

Elle conduit à un nanisme « harmonieux » sauf au niveau du tronc et des membres d'aspects potelés. Le front est bombé, l'ensellure nasale profonde, la maturation osseuse et la puberté retardées.

La symptomatologie apparaît un an après la naissance, par un déficit de croissance. Dans un cas sur quatre, des signes radiologiques de distension de la selle turcique sont visibles sur une téléradiographie de profil. Le rôle de dépistage de l'orthodontiste est alors primordial.

Le diagnostic positif se fait par dosage radio immunologique plasmatique de la GH.

### **1.1.6.1.3. Origine métabolique**

#### **1.1.6.1.3.1. Malnutrition**

Elle concerne les pays sous-développés ainsi que les populations occidentales défavorisées.

Le tableau classique est un tableau d'infection entérale, de parasitose, d'oedème associé à une fonte musculaire et une absence de réserves adipeuses (Loreille, 64).

Si la dénutrition est sévère le retard de croissance sera définitif malgré le rééquilibrage alimentaire.

#### **1.1.6.1.3.2. Rachitisme**

Il est dû à un défaut de synthèse de la vitamine D par insuffisance d'exposition à la lumière solaire. On le compense par apport externe de calcium et de vitamine D.

#### **1.1.6.1.4. Origine environnementale**

Cela concerne les croissances pathologiques dues à un retard d'origine psychoaffectif, induit par un stress élevé et un environnement inadéquat comme nous l'avons déjà évoqué.

#### **1.1.6.2. L'enfant diabétique insulino-dépendant (DID)**

##### **1.1.6.2.1. Généralités**

Il s'agit de la forme de diabète la plus fréquente (El-Bialy, 29).

Rappelons que le diabète est lié à l'augmentation inappropriée dans le sang de la concentration en sucre, se traduisant à long terme par des atteintes vasculaires. Le diabète est infantile s'il est déclaré avant l'âge de quinze ans.

Les signes cliniques sont : déshydratation, cétonurie, peau et muqueuses sèches, hypotension, et parfois infections de la peau, rétinopathies, et neuropathies périphériques. Ces signes peuvent être absents si le DID est peu sévère.

##### **1.1.6.2.2. Effets sur l'os et sa croissance**

Parmi les complications du diabète, on observe :

- Des ostéolyses au niveau des pieds qui s'auto guérissent.
- Une mobilité limitée des sutures chez l'enfant de 10 à 20 ans.
- Un retard de développement d'un centre d'ossification du carpe. Son incidence est de 24% et est 2 fois plus fréquent chez le garçon que chez la fille.
- Le défaut de masse est lié à l'état du métabolisme : s'il se détériore, le défaut de masse s'accroît même en cas d'injections, car l'insuline exogène ne compense pas l'insuline endogène.
- La densité osseuse est également diminuée au niveau vertébral. Il s'agit d'une anomalie mineure qui n'affecte que la corticale osseuse. Cette diminution n'est corrélée ni à l'âge, ni au sexe, ni à l'ancienneté du diabète.

Les enfants à DID sont donc plus courts, plus légers, et voient leur maturation squelettique retardée, augmentant de ce fait l'écart entre leur âge civil et osseux.

## 1.2. Les Maturations

Nous avons vu que la croissance représentait l'aspect quantitatif du développement et que la maturation représentait l'aspect qualitatif de celui-ci (15). La définition en a été donnée au chapitre 1.1. Croissance et maturation sont souvent considérées comme deux parties d'un tout bien que très liées, elles sont en fait deux événements séparés comme on le voit dans le règne végétal (Cox, 23).

Nous avons intitulé volontairement ce chapitre « les maturations » parce que la maturation est un phénomène asynchrone dépendant du tissu considéré (os, dent, ...) et de la région analysée. Ainsi la maturation de l'axe rachidien n'est semblable ni à la maturation des articulations, ni à celle des dents. La littérature scientifique a cerné son étude autour des maturations sexuelle, dentaire, et osseuse grâce à différents signes appelés « indicateurs de maturation ». Selon la maturation observée, ils vont « depuis l'état de la denture permanente jusqu'à l'excrétion des 17-cétostéroïdes » (Falkner, 1960, *in* 15).

### 1.2.1. Maturation sexuelle

Pendant la puberté, la libération des hormones sexuelles déclenche les changements physiologiques et psychologiques caractéristiques de cette période et l'apparition des caractères sexuels secondaires : (15)

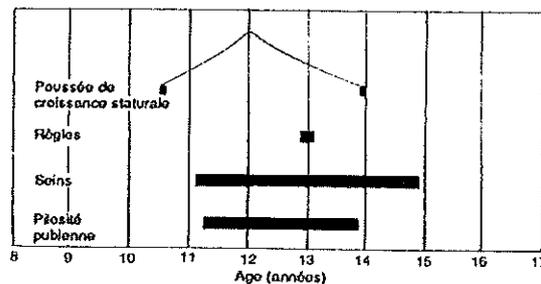
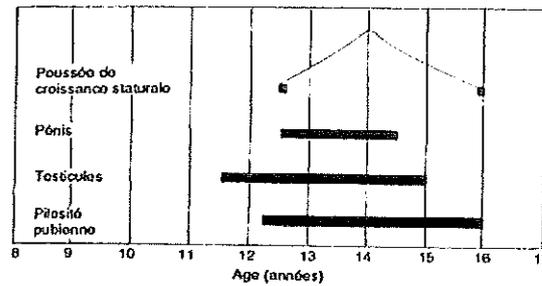
- Chez le garçon l'apparition de la pilosité, la mue de la voix, et le développement des organes génitaux externes.
- Chez la fille l'apparition de la pilosité, les premières règles (ou ménarche, qui signe la date d'entrée en activité des ovaires et le début de la puberté), et le développement de la poitrine.

Pour Loreille (64), la puberté « peut se définir comme le moment où la maturation de l'organisme donne à l'enfant le pouvoir de procréation ».

La maturation sexuelle pubertaire suit généralement un cours normal mais elle peut aussi être perturbée chez certains enfants. Dans la notion de puberté « anormale », on distingue : (15)

- Une puberté précoce (avant 9 ans) dont la cause est précise (tumeur, ...) ou idiopathique.
- Une puberté retardée (après 15 ans chez la fille et 16 ans chez le garçon) dont la cause est soit organique, soit environnementale.
- L'absence de puberté (ou impubérisme) dont l'étiologie est toujours générale et grave (dénutrition profonde, diabète, cardiopathie, insuffisance thyroïdienne et/ou hypophysaire, syndrome de Turner, ...).

La littérature a étudié les relations que pouvaient avoir l'âge d'apparition de ces caractères sexuels secondaires avec le pic de croissance pubertaire (cf. fig. 16). Il en ressort que *seul le ménarche* voit son apparition suffisamment ponctuelle dans le temps pour pouvoir prétendre à être considéré comme un marqueur de maturation.



**Fig. 16 a et b : Correspondance temporelle entre les caractères sexuels secondaires du garçon et de la fille et leur pic de croissance staturale. D'après Tanner in Bonnefont et al (15).**

## 1.2.2. Maturation dentaire et âge dentaire

La notion d'**âge dentaire** indique le niveau de développement biologique de la dentition.

Depuis longtemps, les chercheurs se sont intéressés à la maturation dentaire, d'une part parce qu'elle est un phénomène facilement observable, et d'autre part parce qu'elle entretient des liens avec la maturation squelettique (Sierra, 88).

### 1.2.2.1. Facteurs physiologiques de variation

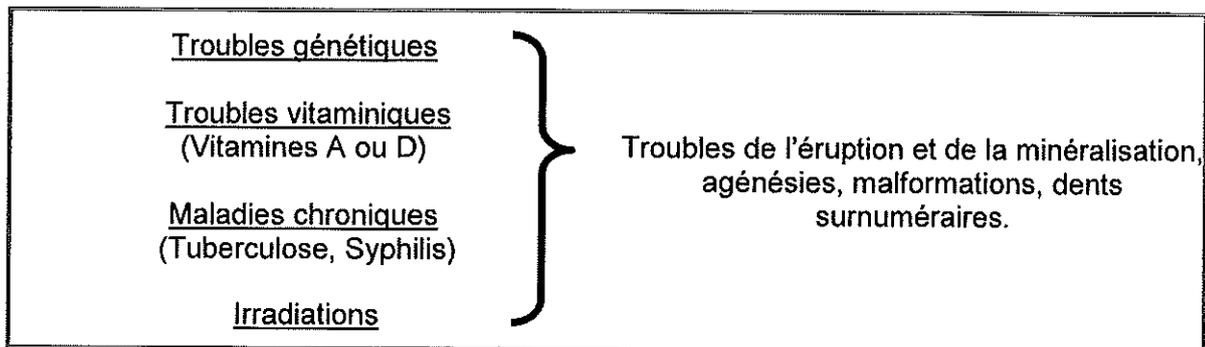
Classiquement, ils rassemblent :

- La **race** : la race noire connaît une maturation dentaire précoce par rapport à la race blanche (Hurme in 15).
- L'**hérédité** : des facteurs génétiques interviennent dans la chronologie d'éruption et dans la minéralisation des germes.
- La **typologie** : l'éruption est plus précoce chez les brachycéphales que chez les dolichocéphales.
- Le **sexe** : l'éruption dentaire est plus précoce chez la fille excepté l'éruption de la troisième molaire qui est plus précoce chez le garçon.
- La **nutrition et le niveau de vie** : plus ils s'améliorent, plus l'âge dentaire est avancé.

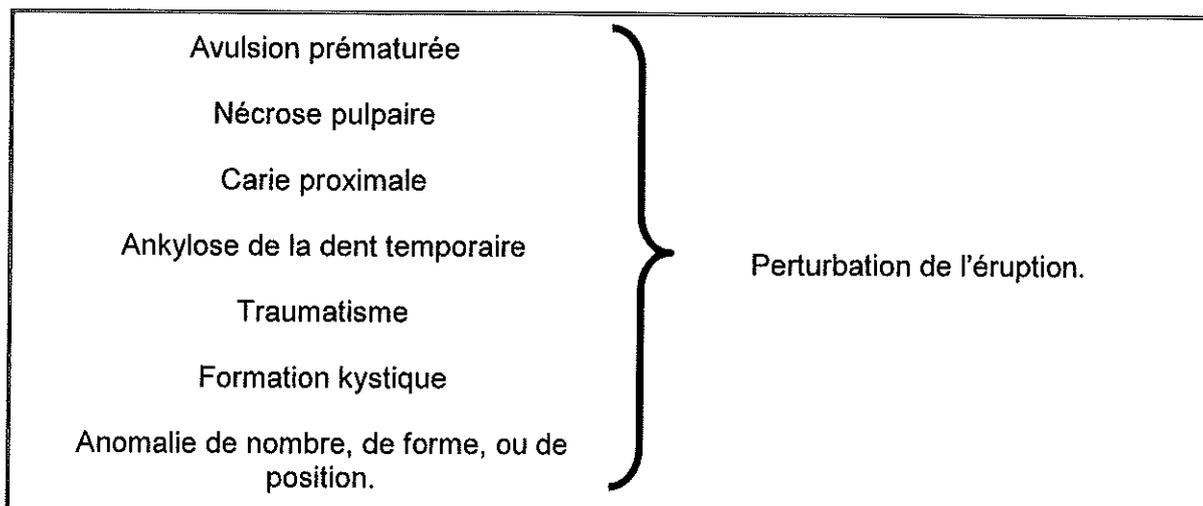
- **La taille et le poids** : de la même façon, plus ils augmentent, plus l'éruption est précoce (Burstone *in* 15). A l'inverse, un retard statural s'accompagne d'un retard dentaire.
- **La puberté** : Une puberté précoce correspond à une avance du développement dentaire (Miller *in* 15)
- **L'arcade considérée** : il existe un asynchronisme d'éruption entre les arcades maxillaire et mandibulaire pouvant aller jusqu'à un an pour les incisives selon Tisserand-Perrier (*in* 15). De même on observe souvent l'éruption des prémolaires maxillaires avant celle des prémolaires mandibulaires. La chronologie d'éruption n'est donc pas un phénomène immuable.

### 1.2.2.2. Facteurs pathologiques de variation

#### Etat général (Bonnefont et al, 15)



#### Etat local (So, 91 ; Bonnefont et al, 15)



### 1.2.2.3. Corrélation avec la maturation squelettique dans la littérature

La plupart des auteurs ont cherché à mettre en évidence un lien entre l'âge chronologique, le système dentaire, et le système osseux (15).

Certains trouvent un degré de corrélation hautement significatif :

- entre la minéralisation dentaire et la maturation squelettique (Demish et Wartmann, 1956 ; Lilequist et Lundberg, 1971 ; Tanner, 1972 ; et Taranger, 1976; *in* 15).
- entre la minéralisation dentaire et l'âge chronologique (Proy et al, *in* 15). Engström (*in* 15) conclut à une corrélation importante entre les stades de minéralisation de la dent de sagesse avec l'âge chronologique.
- entre l'âge dentaire et la croissance staturale (Green)

D'autres auteurs ne trouvent aucune corrélation significative :

- Entre les degrés de minéralisation dentaire et les paramètres de développement physique (Acheson et Dupertuis, 1957 ; Lewis et Garn, 1960 ; Anderson et al, 1975 ; *in* 15).
- Entre l'éruption dentaire et la croissance pubertaire (Meredith, 1959 ; *in* 15).
- Entre l'éruption dentaire et la croissance faciale ou staturale (Nanda, 1971 ; *in* 15).
- Entre l'âge dentaire et l'âge du pic pubertaire statural (Nanda, 1960 ; Burstone, 1963 ; Björk, 1972 ; Helm, 1974 ; *in* 15). Pour Björk, la variabilité de l'âge dentaire est le double de celle de l'âge osseux (26).

En 1979, Chertkow et Fatti (*in* 15) ont étudié sur 140 enfants la relation entre l'apparition de l'os sésamoïde de l'articulation métacarpo-phalangienne du pouce et la calcification des cuspidés des germes dentaires. Ils ont observé une forte corrélation entre le moment d'apparition du sésamoïde et la fin d'édification radiculaire de la canine mandibulaire. Ils en ont déduit que le stade précédent la fermeture apicale de la canine mandibulaire pouvait servir d'indicateur de la puberté au même titre que le sésamoïde lui-même fortement corrélé au pic de croissance staturale.

Cependant, cette étude et ses résultats sont contestés par Sierra (88) :

- Elle ne concernait qu'un échantillon restreint d'enfants d'âge civil compris entre 11 et 13ans.
- Un seul centre d'ossification est étudié (l'os sésamoïde), lui-même soumis à une grande variabilité dans son âge d'apparition.

### 1.2.3. Maturation osseuse et âge osseux

Pour Fishman (30), la comparaison des mesures céphalométriques d'un individu à des standards basés rappelons-le sur l'âge chronologique n'apporte aucun argument valide pour évaluer la croissance et la prévoir. En revanche des âges de maturation appropriés peuvent fournir une indication précise sur l'état du développement et permettent des comparaisons justifiées entre les enfants. Les variations dans les vitesses de croissance staturale et faciale

sont directement liées aux variations existantes dans le processus de maturation. L'étude de la maturation s'avère donc essentielle pour mieux comprendre les relations qu'entretient le développement de la face avec le développement squelettique général.

Pour Sizonenko cité par Salagnac et Delaire (82), « face aux importantes variations individuelles de la taille par exemple [...] ou de l'âge d'apparition des premiers signes pubertaires, la recherche d'un paramètre plus précis permettant d'évaluer l'âge biologique s'est révélée indispensable ». Pour atteindre cet objectif « Le **degré de maturation** du squelette se présente comme une valeur de référence relativement précise » (73). Fishman (32) considère que la maturation squelettique fait partie intégrante du *schéma individuel de croissance et de développement*. Cela signifie que chaque individu mature selon un calendrier individuel. Pour Burstone (1963) cité par Grave (41, 42), il existe deux concepts clé de la maturation : le **niveau de maturation** et le **taux de maturation**. Le niveau de maturation « peut être considéré comme la distance qu'un individu a parcouru vers la maturité ». Le taux de maturation varie considérablement d'un enfant à l'autre ce qui permet de distinguer dans une population d'enfants de même âge civil les enfants à maturation précoce, les enfants dont le niveau de maturation correspond à la moyenne du groupe, et les enfants à maturation retardée.

D'une manière générale, les individus ayant un calendrier de maturation avancé ou retardé montrent des avances et des retards comparables dans la croissance squelettique générale et dans la croissance faciale (Fishman, 32).

Toujours selon Fishman (30) l'avance de croissance et de maturation signifie une plus grande quantité de croissance pendant le début et la moyenne adolescence. A l'inverse, la croissance est moindre pendant la fin de l'adolescence tandis que les enfants en retard de croissance qui « veulent » rattraper leur retard voient leur croissance prolongée au-delà de la deuxième décennie de leur vie.

Les écarts de temps séparant les mêmes états de maturation varient significativement selon que la croissance est retardée, moyenne, ou avancée. En effet les enfants en avance progressent à travers leurs étapes de maturation plus rapidement que les enfants en retard (Fishman, 30).

### 1.2.3.1. « Age osseux »

Il ne s'agit pas d'un âge à proprement parler, comparable à l'âge civil ou à l'âge dentaire. Ce serait une mauvaise conception que de croire que l'âge squelettique soit une caractéristique mesurable (comme la taille ou le poids, ...). La littérature a introduit le terme d'âge osseux dans le but de bien différencier l'évolution de la maturation osseuse, de l'âge dentaire, et de l'âge civil.

Pour Benso (10), définir un âge osseux c'est « affecter un âge conventionnel à des os radiographiés. Le terme d'âge squelettique souffre d'une maladie sémantique congénitale ! ».

Pour Canovas (18), il est une « tentative chiffrée d'évaluation de la maturation squelettique à partir de grandes études statistiques ». Il correspond donc pour un individu à l'état de sa maturation squelettique en référence à celle de la majorité des individus du même sexe du même âge civil.

Pour Sempé (*in* 15) « la traduction du degré de maturation osseuse en âge osseux donne une indication importante en ce qu'elle permet de situer l'individu par rapport à l'ensemble du groupe humain » de référence. « Parler d'âge osseux pour exprimer la maturation du squelette repose sur une convention et un souci de commodité » et pour Acheson (*in* 15) l'année d'âge osseux n'a pas de signification bien définie.

Certains auteurs comme So (91) définissent le terme d'**âge osseux** comme l'application d'un âge à un seul os radiographié, par opposition à l'**âge squelettique** défini comme la moyenne

des âges osseux des différents os observés ; le nombre de ces os pouvant varier selon la méthode utilisée.

Pour Hassel et Farman (48), âge biologique, âge squelettique, et âge osseux sont des termes proches pour décrire la même chose : les étapes de maturation osseuse d'un enfant. Cette succession d'étapes, identifiable radiologiquement, forme une **séquence** relativement constante pour un os donné mais leur timing est différent car chaque individu a sa propre horloge biologique. Malgré ces variations individuelles cette séquence est globalement reproductible et suffit pour fournir une base de comparaison entre plusieurs individus.

### 1.2.3.2. Indicateurs de maturation

Nous avons vu que la maturation osseuse était un caractère qualitatif, non quantifiable. Si on ne peut la mesurer au sens propre du terme, on peut cependant l'évaluer. Évaluer la maturation osseuse c'est apprécier le degré de maturation du squelette en examinant les indicateurs de maturation. Ils fournissent un moyen plus fiable d'évaluer le niveau de maturation de chaque enfant parmi la très large gamme d'âges chronologiques que l'on peut rencontrer chez eux. (Fishman, 30).

Pour Acheson (*in* 15), ce sont les « caractéristiques des os, qui peuvent être vues aux rayons X et qui, à cause de leur ordre d'apparition (...), marquent leur avance vers la maturité ».

On peut différencier six phases dans cette évolution de l'os vers la maturité :

- La chondrogenèse initiale, se terminant généralement durant la vie foetale.
- La limitation épiphysaire qui permet la mise en jeu articulaire
- L'ostéogenèse initiale témoignant de l'arrivée des premières molécules de calcium et se traduisant par un aspect radiologique flou caractéristique.
- L'ostéogenèse secondaire qui est l'ossification de tous les cartilages saufs les cartilages de conjugaison. Elle se poursuit jusqu'à la puberté.
- L'ostéogenèse terminale qui envahit les cartilages de conjugaison et produit la fusion diaphyso-épiphysaire.

Nombreux sont les auteurs qui ont recherché les meilleurs indicateurs du degré de maturation squelettique. On retrouve (Mito, 65; Franchi 35, 36; Hassel et Farman, 48 ; Kucukkeles, 58; Pelosse, 77; Bonnefont et al, 15) :

- Les caractères sexuels secondaires (Fishman, 32; Hagg et Taranger, 47)
- L'âge chronologique (Hagg et Taranger, 47)
- Le développement dentaire : éruption et calcification (Hagg et Matsson, *in* 15; Sierra, 88; Coutinho, 22)
- La taille staturale (Tanner, 1976)
- Le poids (Green, 1961)

- Le développement squelettique (Grave et Brown, *in* 15; Travesi, *in* 15; Fishman, 32; Muelas, *in* 15) dont l'étude spécifique des vertèbres cervicales (Lamparski, 1972 ; Vilar et al, *in* 15; Hassel et Farman, 48; Garcia-Fernandez, 37; Franchi et Baccetti, 35, 36).

Pour Tanner et al (93, 94, 95) « la maturation squelettique est sans doute la meilleure méthode pour faire le point sur le niveau de maturation biologique d'un enfant ou d'un adolescent. Tous les enfants débutent leur vie avec un squelette osseux entièrement développé à l'âge adulte » Le squelette fournit donc une excellente base pour évaluer les changements qui ont lieu dans chaque os depuis l'ossification initiale foétale jusqu'à l'âge adulte.

D'autre part, l'âge osseux entretient des liens étroits avec d'autres indicateurs de maturation comme la vitesse de croissance staturale ou la maturation sexuelle, ce qui augmente encore l'intérêt de son étude.

### 1.2.3.3. Facteurs de variation

Cependant, l'étude de la maturation squelettique est difficile car la maturation correspond pour Acheson (*in* 15) à une *séquence d'événements variables* d'un âge à l'autre, d'un enfant à l'autre, d'un sexe à l'autre :

- D'un sexe à l'autre : les filles sont plus précoces et leur maturation est plus rapide. Cela nécessite donc de différencier la notion d' « **année osseuse** » selon le sexe. On peut parler de dimorphisme sexuel de maturation (15, 64). On le trouve par exemple dans l'âge d'apparition des os du carpe et de la main bien que Bowden (16) ne le retrouve pas dans les intervalles entre fusions épiphyso-diaphysaires de la main et du carpe. Pour Koziel (56), l'analyse des données longitudinales confirme une différence entre les deux sexes dans la taille et le timing de maturation. Chez la fille, le précocité du pic pubertaire est liée à la synthèse d'oestrogènes qui accélèrent la maturation squelettique plus que la croissance staturale. D'où l'importance du gain de taille pré-pubertaire qui compense la courte durée du pic. En revanche chez le garçon, la testostérone stimule à la fois la croissance et la maturation. Pour Kopecky et Fishman (55) et Fishman (30), il existe très peu de variation du taux croissance des garçons et filles si et seulement si le niveau de maturation est pris comme base de calcul. En revanche si on se base sur l'âge chronologique des enfants, le dimorphisme sexuel devient flagrant (Rohr, 81).
- D'un enfant à l'autre :
  - Entre deux garçons ou deux filles d'un même âge. Comme pour la croissance, la vitesse de maturation osseuse n'est pas constante et dépend du niveau de maturation atteint (73). Ainsi deux enfants de même âge civil peuvent avoir deux niveaux de maturité différents, associés par conséquent à deux vitesses de maturation différentes (par exemple, l'un aura en une année civile une maturation équivalente à 16 mois de maturation chez l'autre). Pour Dimeglio et Bonnel (*in* 73), seulement 40 % des enfants voient leur âge osseux concorder à leur âge civil.
  - A fortiori, deux enfants issus de deux populations différentes n'atteindront pas la maturité squelettique au même moment. Par exemple les enfants japonais atteignent la maturité un à deux ans avant les Européens et les Chinois (Murata, 74). Cette variation est également valable entre sous-groupes ethniques.

- Au sein d'un même individu, la notion d'année osseuse n'a pas la même signification selon l'âge atteint, ni même selon l'os concerné. A ceci il faut ajouter le facteur de variabilité génétique dont l'influence est plus importante au sein du carpe qu'au sein des épiphyses des os longs.

De manière similaire à la croissance, le taux de maturation est influencé par : (15)

- Les facteurs génétiques
- Les facteurs raciaux
- Les conditions climatiques et saisonnières
- La nutrition
- Les conditions socio-économiques
- Les changements séculaires

#### **Autres facteurs :**

- Le côté étudié : le côté gauche semble toujours plus avancé en maturation.
- La taille staturale : plus elle est grande, plus les noyaux osseux fusionnent précocement. Pour Fishman (32), les variations de maturation sont étroitement liées aux variations de timing et d'amplitude de croissance. Pour Koziel (56), la taille moyenne des parents module la taille atteinte à l'adolescence, notamment chez la fille.
- La corpulence : plus l'enfant est fort, plus la maturation est précoce.
- Les pathologies, qui peuvent avancer et surtout retarder la maturation.

Globalement, Coutinho (22) considère que la maturation est affectée par des différences constitutionnelles dans le timing de maturation, liées à des maladies, à des désordres systémiques ou aux facteurs environnementaux de sorte qu'un enfant est en avance ou en retard par rapport à un groupe de référence.

#### **1.2.3.4. Relations avec les croissances faciales et staturales**

Selon Drayer (28), le degré de maturation squelettique chez un enfant en bonne santé est étroitement lié au potentiel de croissance à venir et donc à la taille finale.

Pour Hassel et Farman (48), la maturation squelettique est plus liée à la maturation sexuelle qu'à la stature.

L'étude de Bergersen (11) trouve une corrélation positive entre la maturation squelettique (étudiée par la radio du poignet) et le départ du pic (onset) de croissance faciale.

Plusieurs études ont constaté une relation entre le pic de croissance staturale et certaines étapes parmi la séquence de maturation de la main et du poignet. C'est le cas de l'apparition de l'os sésamoïde qui a été relié au maximum de vitesse de croissance en taille staturale parmi

plusieurs populations : Danemark (Björk et Helm, 14), Australie (Bowden, 16), Ecosse (Chapman, 19), Canada (Demirjian, 25, 26). Son ossification débute 9 à 18 mois avant le pic de taille staturale.

D'autres études ont établi une relation entre la maturation squelettique et la croissance de plusieurs composants crânio-faciaux. Ainsi :

- Le pic mandibulaire est plus étroitement lié à l'âge osseux qu'à l'âge civil, quelle que soit la méthode utilisée. Pour Bergersen (11) le corpus mandibulaire, et donc sa longueur, sont fortement liés à l'âge squelettique.
- L'apparition de l'os sésamoïde précède le pic mandibulaire d'environ 1,1 ans chez la fille et 0,7 ans chez les garçons (Pileski, in 15).
- Pour Tofani (in Moore, 73), la fusion épiphyso-diaphysaire des phalanges distales de la main est un bon indicateur du maximum de croissance mandibulaire.

Pour Fishman (30), la maturation est le *dénominateur commun* du rythme (timing), du gain de croissance, et de la vitesse de croissance quels que soient l'âge civil et le sexe.

Selon Björk (13), la face et le maxillaire évoluent sur la même échelle de maturation que la croissance squelettique générale. Cependant si l'âge du pic de croissance est à peu près le même quelles que soient les parties du corps considérées, il n'en est pas de même de l'âge de maturité qui, lui, est très différent selon la zone analysée. D'où la difficulté pour définir les niveaux de maturation et l'absence de classement exact. Il est donc important pour l'orthodontiste d'évaluer le développement des différents systèmes de maturation. (Björk, 13; Fishman, 32)

En conclusion, nous savons que les phénomènes « croissance » génèrent des changements de proportion entre les différentes parties du corps de l'enfant, à des rythmes et dans des proportions variables selon un grand nombre de facteurs. Nous savons maintenant que ces variations de croissance sont liées aux mêmes variations dans le processus de maturation (Fishman, 32). De plus la maturation osseuse est le seul indicateur de développement qui soit disponible de la naissance à l'âge adulte (Cox, 23). La maîtrise de ces phénomènes nécessite donc l'utilisation de méthodes spécifiques d'évaluation de la maturation osseuse puisqu'elle semble être la clé du développement de l'enfant.

## 2. MOYENS D'ÉVALUATION DE LA MATURATION OSSEUSE

Nombreux sont les auteurs qui insistent sur la nécessité d'évaluer le niveau de maturation d'un enfant malgré la grande variabilité individuelle qui caractérise le pic de croissance (Grave et Brown, *in* 15 ; Hagg et Taranger, 47 ; Hassel et Farman, 48). Cependant, la perspective d'une prise en charge thérapeutique de l'enfant, quelle qu'elle soit, nécessite un maximum d'informations sur le niveau de maturation atteint pour ensuite s'interroger sur la quantité de croissance résiduelle que l'on peut espérer pendant le traitement.

### 2.1. Pré requis à l'évaluation

#### 2.1.1. Méthodes auxologiques

En pédiatrie, l'étude biométrique de la croissance d'un enfant s'effectue selon :

- une **démarche verticale** qui consiste à mesurer de manière régulière des paramètres corporels (taille, poids, périmètre crânien) ou des paramètres biologiques (dosages hormonaux,...).
- une **démarche transversale** qui consiste à effectuer des mesures sur un échantillon d'enfants partageant un caractère commun, afin d'en déterminer une moyenne valable pour l'échantillon.

L'idée de relier la face au développement squelettique et à la maturation date de 1918 (Spier, *in* 11). Depuis, de nombreux tests comparatifs ont été réalisés mettant en jeu plusieurs indicateurs potentiellement précis.

Il faut également considérer : (Aicardi, 3)

- que la restriction de l'étude à une partie du corps crée une marge d'erreur.
- qu'au niveau d'une même zone, l'utilisation de plusieurs méthodes conduit à des résultats différents, ce qui renforce cette notion d'incertitude.

#### 2.1.2. Critères de choix d'un indicateur biologique

Pour qu'un indicateur biologique donne satisfaction, il doit être efficace et fiable (méthode reproductible). Ces deux conditions doivent pouvoir être évaluées afin de pouvoir comparer les indicateurs entre eux. Prenant l'exemple de la mandibule, Baccetti (8) définit 5 fondamentaux nécessaires à l'évaluation de l'efficacité et de la fiabilité d'un indicateur biologique de maturation squelettique individuelle mandibulaire :

- Efficacité à détecter le pic mandibulaire (qui est du plus grand intérêt clinique). La méthode doit présenter une étape qui coïncide avec le pic mandibulaire chez la plupart des sujets.
- Pas d'exposition radiologique supplémentaire.
- Facilité d'enregistrement. Plus il est simple, plus la méthode sera aisément reproductible.
- Interprétation cohérente des données : l'erreur inter opérateurs doit être la plus basse possible.
- Capacité à anticiper le pic de croissance. Une méthode sera d'autant plus utile qu'elle permettra de définir *a priori* le pic de croissance plutôt qu'*a posteriori*.

Parmi les différents moyens d'évaluation de la maturation de l'enfant, il nous faut différencier :

- Les moyens « ponctuels » ou « binaires » (Cet indicateur est-il présent ? Oui ou Non) comme les caractères sexuels secondaires ou l'apparition de l'os sésamoïde par exemple.
- Les moyens « continus » d'observation qui permettent une évaluation longitudinale de l'enfant pendant toute sa période de croissance. C'est le cas de la taille staturale, de l'âge chronologique, des développements dentaire et osseux.

Parmi ces indicateurs, on distingue :

- ceux dont l'usage est exceptionnel ou réservé à l'expérimentation :
  - (Alizarine, tétracycline, ...)
  - Prélèvements sanguins pour dosage de facteurs de croissance (ostéocalcine) témoignant d'une activité ostéoformatrice.
  - Prélèvements urinaires à la recherche de marqueurs de résorption osseuse (pyridinoline et deoxypyridinoline).
- ceux dont l'usage est adapté à la pratique quotidienne : (52, 58, 73)
  - L'âge chronologique
  - Les caractères sexuels secondaires
  - La taille staturale
  - Le développement dentaire
  - Le développement squelettique

## 2.2. L'âge chronologique ou âge civil

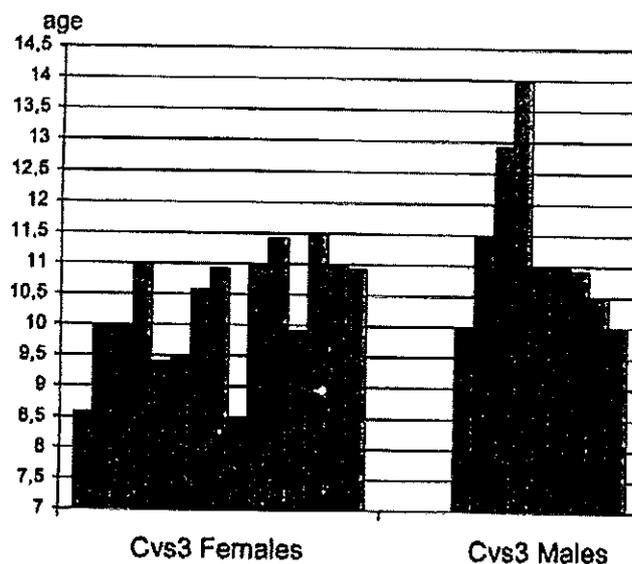
Issu directement de l'interrogatoire, il est le premier indicateur obtenu par le clinicien. Son interprétation est directe par comparaison du sujet à un groupe de référence (moyennes nationales par exemple).

Malheureusement, à cause des variations physiologiques individuelles (22,37), les auteurs s'accordent à reconnaître que la maturité ne peut être évaluée avec fiabilité par l'âge chronologique (Chronological age ou CA). (15, 22, 23, 30, 31, 32, 37, 40, 41, 46, 55, 58, 64, 66, 77, 90). Pour Kopecky et Fishman (55), l'âge chronologique d'une personne ne se corrèle pas nécessairement avec son âge maturationnel. Il ne peut être utilisé seul comme moyen d'évaluation.

En effet la notion d'âge civil est indépendante de la biologie : l'âge chronologique est en fait utilisé pour indiquer les moments auxquels d'autres indicateurs sont remarquables. Par exemple l'âge civil moyen des premières règles chez la fille ou l'âge civil moyen du pic de croissance staturale chez la fille et le garçon. Il est également utilisé pour indiquer les âges dentaires moyens d'éruption ou de calcification ainsi que l'âge squelettique de l'enfant.

Il n'est donc pas un véritable indicateur biologique au sens propre du terme puisque son évolution (l'évolution temporelle) n'est pas influencée par le développement de l'enfant mais plutôt un repère (chronologique) qui va permettre de définir par la suite un âge dentaire ou un âge osseux qui eux sont de véritables indicateurs biologiques de maturation.

Franchi (36) dans son étude clinique sur les vertèbres cervicales (*cf.* 2.6) étudie la distribution des âges chronologiques d'un échantillon ayant atteint un même stade de maturation vertébrale. Il observe que l'âge chronologique ne permet pas à lui seul d'apprécier le niveau de maturation d'un individu, et par conséquent d'espérer planifier avec précision le plan de traitement.



*Fig. 17 : Distribution des âges civils parmi un échantillon de filles et de garçons ayant atteint le même niveau de maturation osseuse (36).*

Ces grandes variations dans l'âge de début du pic pubertaire et dans sa durée ont conduit les chercheurs à s'intéresser à d'autres indicateurs et à dresser des études longitudinales pour évaluer la maturation individuelle (Greulich et Pyle, 43).

## 2.3. Les indicateurs sexuels

Grave (42) parle d'**âge sexuel** et le définit comme le fait d'atteindre la maturité sexuelle primaire et secondaire. Il insiste sur l'importance de reconnaître ces changements pubertaires ainsi que leur séquence.

En pédiatrie, des standards existent pour évaluer les poils pubiens, le développement des organes génitaux et de la poitrine (Tanner, 1962). Malheureusement, cette étude paraît mal aisée en orthopédie dento-faciale : nous pouvons tout au plus recueillir par l'interrogatoire l'âge des premières règles chez la fille ou de la mue de la voix chez le garçon.

Enfin, ces indicateurs sexuels sont tous des moyens ponctuels d'évaluation de la maturation. S'ils sont absents il est impossible d'estimer leur délai d'apparition, ce qui ne renseigne pas sur l'arrivée du pic pubertaire.

### 2.3.1. Les premières règles

Pour Grave (41) ainsi que pour Deming cité par Chapman (19), elles apparaissent invariablement après le pic de croissance staturale. Selon les auteurs, elles apparaissent :

- vers l'âge de 10 ans (Hagg et Taranger cités par Kucukkeles, 58)
- 17 à 18 mois après le pic de croissance staturale (Björk et Helm, 1967, 14 ; Tofani, 1972, in 15).
- Entre le début et la fin de la fusion épiphyso-diaphysaire des phalanges.

Elles témoignent donc de manière fiable (mais pas absolue) que le pic de croissance est en cours ou est passé (Kucukkeles, 58). La jeune fille est alors en période de ralentissement de croissance (partie descendante de la courbe de croissance). On ne doit donc pas espérer un fort potentiel de croissance squelettique une fois ce stade atteint.

Cependant l'âge d'apparition des premières règles possède plusieurs inconvénients :

- Bien qu'étant le seul indicateur biologique facilement disponible, il ne concerne que la population féminine. Son intérêt clinique en est donc diminué (Cox, 23).
- Il ne renseigne qu'*a posteriori* sur le pic de croissance pubertaire et ne permet donc pas de le prévoir et donc de l'anticiper.

### 2.3.2. La mue de la voix

Pour Kucukkeles (58) le changement de la voix pendant le pic est un indicateur fiable de maturation. Selon Hagg et Taranger (47), la mue de la voix apparaît en moyenne vers 11 ans. L'apparition des caractères sexuels secondaires chez le garçon est concomitante à l'accélération de la vitesse de croissance staturale, puis la vitesse de croissance diminue au fur et à mesure que les diaphyses et les épiphyses des phalanges fusionnent (aussi bien chez la fille que chez le garçon).

Cependant, il est soumis aux mêmes critiques que les premières règles chez la fille.

Pour Kucukkeles (58), les caractères sexuels secondaires doivent être inclus dans l'évaluation générale de l'enfant, et ce d'autant plus qu'il est proche de son pic pubertaire.

## 2.4. La taille staturale et la courbe de croissance individuelle

L'intérêt scientifique pour la taille staturale remonte au XVIII<sup>e</sup> siècle. Buffon dans son *Histoire naturelle de l'homme* rapporte que le comte Guéneau de Montbeillard avait enregistré la taille de son fils depuis sa naissance en 1759 jusqu'à l'âge de 18 ans. Pour Björk (*in* 15), « l'enregistrement annuel de la taille peut être d'un grand intérêt pratique pour déterminer le stade de développement de l'individu ».

Nous avons vu précédemment que les courbes moyennes de croissance constituées pour une population ou un groupe s'accordaient très grossièrement avec la croissance d'un enfant (*cf.* 1.1.4.2). C'est pourquoi nous nous attachons ici à la méthodologie nécessaire à l'obtention d'une **courbe de croissance individuelle** afin d'y détecter par la suite les variations pubertaires de la vitesse de croissance.

### 2.4.1. Méthode d'enregistrement

Bonnefont et al (15) insistent sur l'importance d'enregistrer des informations pertinentes et contemporaines. Pour cela une étude longitudinale sur les mêmes enfants doit être réalisée.

#### 2.4.1.1. Le recueil des mensurations

- La pratique la plus répandue consiste à mesurer le sujet debout, au garde-à-vous, les bras pendants, les talons joints, le dos appuyé contre la toise, la tête légèrement relevée de sorte que le plan de Francfort soit horizontal (Olivier cité par Bonnefont et al 15). Le pied à coulisse est alors amené sans pression excessive. La taille prend alors le nom de **stature** (Loreille, 64, 65).
- La mesure peut également s'effectuer de manière complémentaire sur un sujet assis, ce qui permet d'évaluer séparément la croissance du rachis et la croissance des membres inférieurs (Bonnefont et al, 15).
- Enfin les travaux scientifiques précis mesurent la taille du corps en position couchée. Elle prend alors le nom de **longueur**. (Loreille, 64, 65)

Dans tous les cas il conviendra de tenir compte de la pathologie (enfant scoliotique). Château préconise de commencer les mesures vers l'âge (civil) de 7 ans (20).

Sempé et Massé (*in* 15) reportent une différence de 1 cm entre la taille au matin et la taille au soir, liée à l'activité journalière et à la déshydratation qui l'accompagne ainsi qu'à l'augmentation des courbures de l'axe rachidien.

### 2.4.1.2. Construction de la courbe individuelle de l'enfant

Le recueil des données permet d'établir la courbe de croissance staturale individuelle. Il reste ensuite à interpréter cette courbe.

- Une première possibilité consiste à comparer l'enfant à un groupe. La répartition étant gaussienne (cf. 1.1.3.1 *Notion de normalité*) l'enfant dont la courbe vient d'être tracée est comparé à un groupe pris comme référence sachant que ce genre de comparaison conduit facilement à des erreurs d'interprétation. La croissance est considérée comme physiologique jusqu'à  $\pm 2$  SD (*Standard Deviation* ou déviation standard) pour la plupart des auteurs et pour Lelong (*in 15*) jusqu'à  $\pm 7\%$  de la taille moyenne. La croissance devient « suspecte » à  $\pm 3$  SD pour Sempé et Massé (*in 15*).

Pour réduire ces erreurs, Fishman (31) utilise le taux de croissance relative (fig. 18) comme un index précis de l'accélération et décélération de croissance sur des périodes spécifiques et variables. Il permet de comparer des taux annuels et facilite la comparaison de l'individu par rapport au groupe.

$$\text{Taux de croissance relative} = \frac{M_2 - M_1}{M_{\text{moyen}}} \times \frac{100}{\text{Longueur de la période}}$$

*Fig. 18 : Taux de croissance relative selon Fishman (31).  
M1 et M2 représentent les mesures effectuées aux moments 1 et 2.*

- Une deuxième possibilité consiste à utiliser la courbe pour situer l'enfant par rapport à son pic pubertaire, afin d'en déduire sa croissance future et les possibilités thérapeutiques qui en découlent.

Selon Brook et al, et Garn (*in 15*), il est important de tenir compte de la taille des deux parents dans l'observation de la taille d'un sujet.

### 2.4.2. Evaluation statistique / Intérêt scientifique

Pour Falkner (*in 15*) la taille staturale est un indicateur stable de la maturation osseuse.

On peut définir l'âge statural comme l'âge correspondant à la taille de l'enfant examiné d'après les courbes statistiques.

### 2.4.3. Avantages

Cette méthode présente l'avantage de différencier la taille debout (croissance globale), la taille assis (croissance du buste), et la taille du segment inférieur. Ces deux derniers paramètres définissent des « unités spécifiques de croissance » (15) expliquant le gradient de croissance selon Tanner (cf. 1.1.5.2.2 *loi d'allométrie*). Ils contribuent à une meilleure compréhension des phénomènes de croissance staturale.

Pour Godin (in 15) la taille staturale doit la plus grande part de son développement (fig. 19 a) :

- aux membres inférieurs avant la puberté (où prédomine la croissance osseuse)
- au buste pendant et après la puberté (où prédomine la croissance musculaire).

Dans tous les cas le sommet du pic de croissance staturale se situe entre les sommets des pics « assis » et « membres inférieurs », ceux-ci étant eux-mêmes proches l'un de l'autre (cf. fig. 19 b).

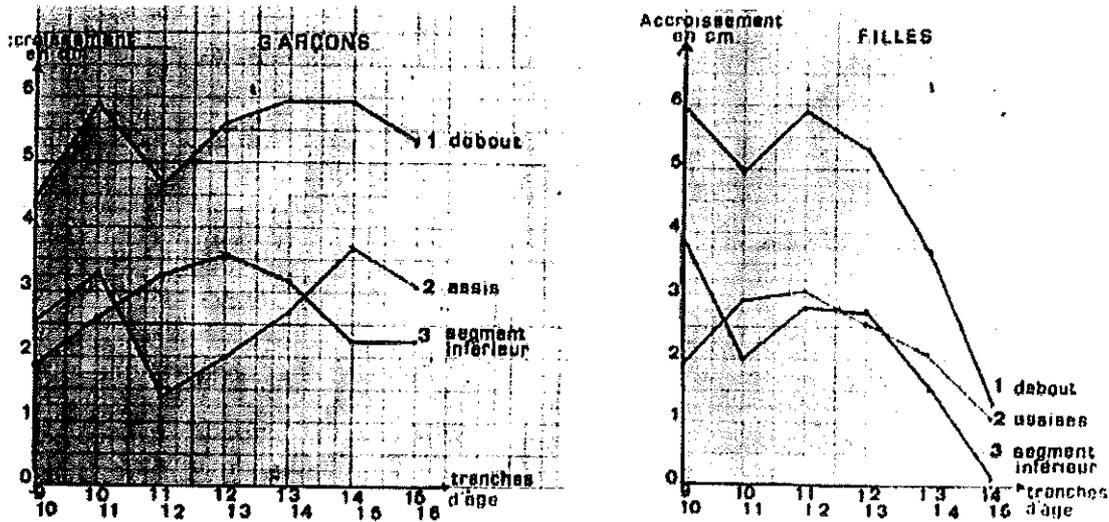


Fig. 19a : Variation des taux de croissance, de la taille assis, du segment inférieur, et de la taille staturale selon Godin (in Bonnefont et al, 15).

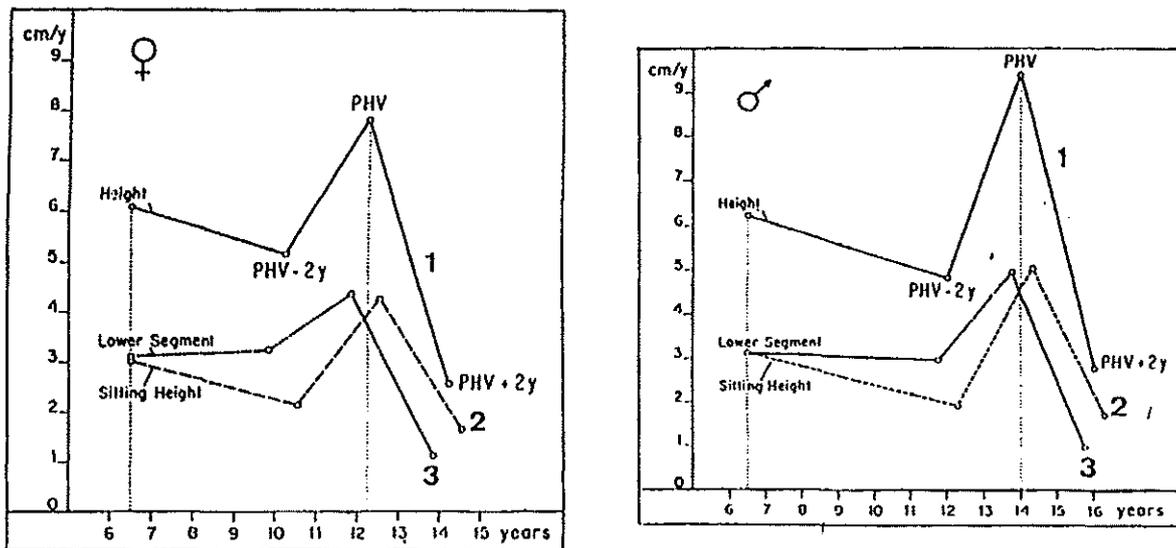


Fig. 19 b : Relation entre les pics de croissance des segments inférieur, du buste, et de la taille staturale selon Prader et Haldi (in Bonnefont et al, 15).

Si l'on inclut cette segmentation de la taille dans l'analyse du dimorphisme sexuel de la maturation, on observe (cf. fig. 19) :

- Que la diminution du taux de croissance statural pré-pubertaire est due à une diminution du taux de croissance du buste chez le garçon et du segment inférieur chez la fille.
- En comparant les trois courbes taille debout, taille assise, taille du segment inférieur aux courbes des paramètres crânio-faciaux issus de l'étude clinique de Bonnefont et al (15),
  - Que le pic de croissance faciale correspond chez la fille au pic du segment inférieur.
  - Que le pic de croissance faciale correspond chez le garçon au pic de taille assis.
  - La courbe de croissance du paramètre facial Co-Pog semble être composite de la taille debout jusqu'à 13-14 ans, puis de la taille assis.
  - La courbe de croissance du paramètre facial Go-Pog semble être composite de la taille debout jusqu'à 13-14 ans, puis du segment inférieur.

Ainsi taille assis et taille debout pourraient indiquer la quantité de croissance à espérer au niveau de la face.

Pour Franchi (36), la mesure de la taille staturale est l'indicateur présentant la variabilité la plus basse pour définir l'âge squelettique et sa fiabilité est très importante.

#### 2.4.4. Inconvénients

Les enregistrements longitudinaux de taille staturale et les courbes de croissance associées sont difficiles à utiliser pour établir un plan de traitement :

- Tout d'abord, il est nécessaire d'examiner l'enfant avant son pic pubertaire et pendant une période suffisante. Pour Franchi (36), la nécessité de mesures répétées à intervalles réguliers (idéalement tous les 3 mois) est l'inconvénient majeur de la méthode.
- Il reste difficile d'estimer si une accélération du taux de croissance indique réellement le début du pic pubertaire car ces accélérations sont nombreuses pendant la période juvénile (Hagg et Pancherz, 46).
- Les données recueillies doivent être interpolées pour que les accélérations représentent les taux annuels de croissance. (Hagg et Pancherz, 46).
- Enfin, cette méthode ne permet la détermination du pic pubertaire qu'a posteriori (15).

#### 2.4.5. Conclusion

L'étude de la taille staturale de l'enfant fournit de nombreuses données fiables sur son développement sans toutefois permettre une évaluation précoce du calendrier de maturation. Elle ne peut que confirmer a posteriori la présence du pic pubertaire.

## 2.5. L'âge dentaire

Deux approches différentes se sont succédées pour évaluer ce développement : l'étude des périodes d'éruption, et les étapes de calcification dont l'étude est devenue possible grâce à la radiographie.

### 2.5.1. Stades d'éruption

#### 2.5.1.1. Méthode

Historiquement, la première table utilisée est celle de Hurme (in 15) qui publie en 1949 un diagramme des âges moyens d'éruption des dents maxillaires et mandibulaires d'un groupe d'enfant de race blanche en distinguant le garçon de la fille ( cf. fig. 20).

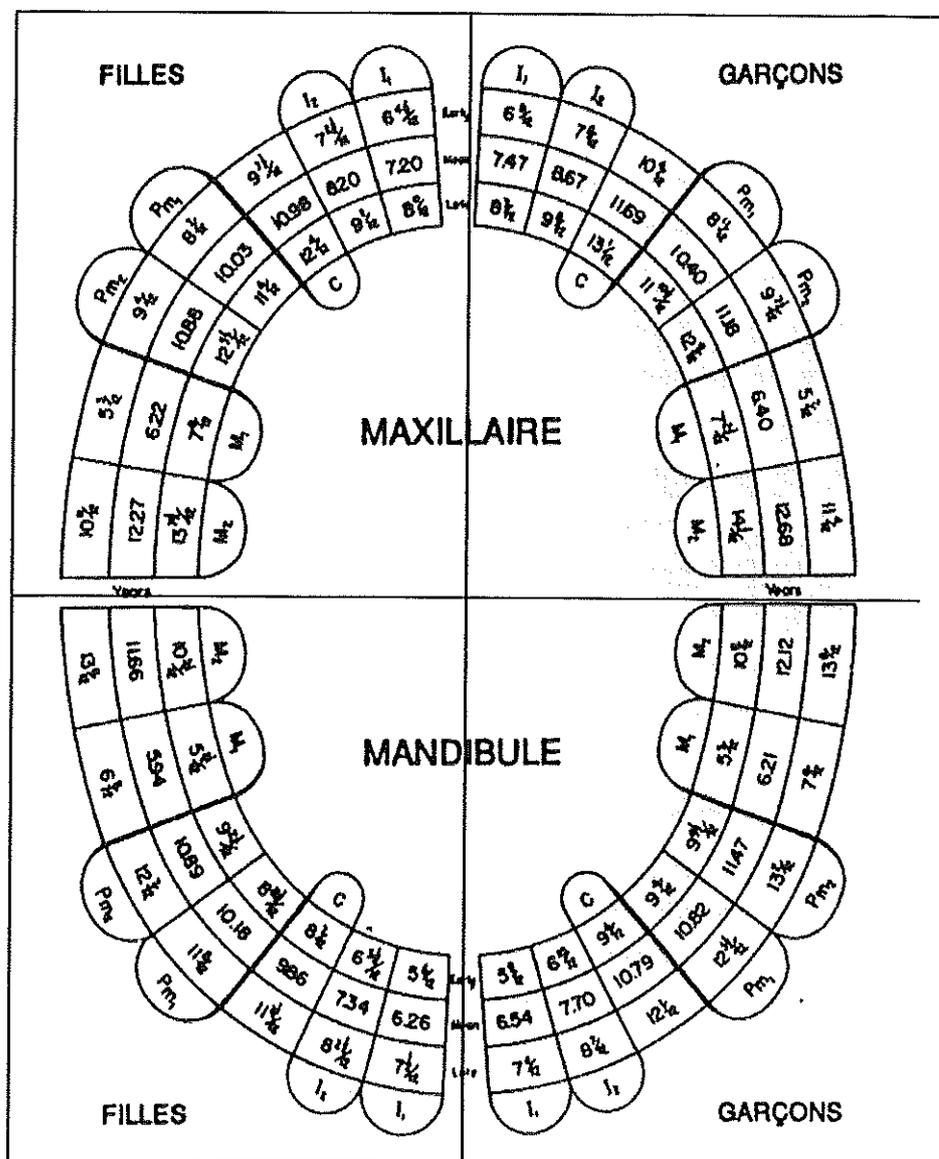


Fig. 20 : Diagramme de Hurme donnant l'âge moyen d'apparition des dents permanentes selon le sexe (in Bonnefont et al, 15).

Les travaux de référence restent ceux de Villemey et Duclos en 1971 (in 15).

Haruhiko et Kitamura (*in 15*) ont décrit 22 séquences d'éruption distinctes.

Lo et Moyers, en 1953 (*in 15*), rapportent les trois séquences les plus fréquentes parmi un échantillon de 236 enfants canadiens :

<u>Au maxillaire :</u>	6 1 2 4 5 3 7
	6 1 2 4 3 5 7
	6 1 2 4 5 7 3
<u>A la mandibule :</u>	6 1 2 3 4 5 7
	6 1 2 3 4 7 5
	6 1 2 4 3 5 7

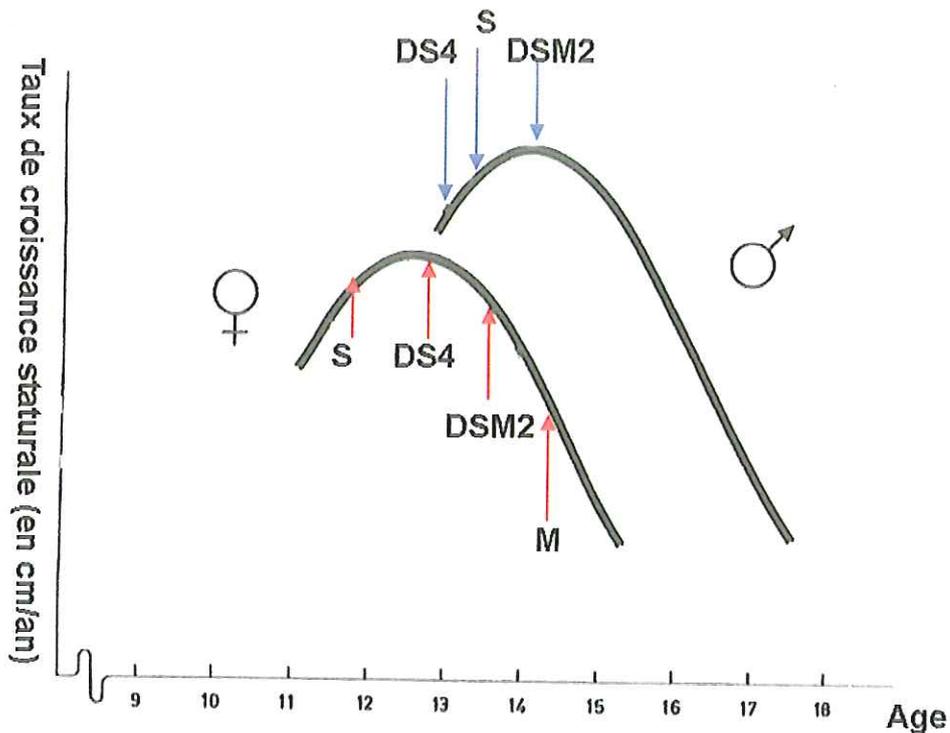
Puis Tisserand-Perrier (*in 15*) confirme en 1958, après étude de plus de 2800 enfants, la grande dispersion des âges éruptifs lors de l'apparition des deux dentures.

Björk et Helm (14), ont également étudié 2 marqueurs dentaires :

- DS 4 : lorsque les canines et premières prémolaires permanentes sont en place sur l'arcade et en occlusion.
- DS M2 : lorsque les deuxièmes molaires permanentes sont en place sur l'arcade et en occlusion.

Les corrélations affichées par les trois groupes étudiés vont de 0.65 à 0.87. Ces marqueurs ont été placés sur la courbe de croissance staturale afin d'analyser leur relation avec le pic pubertaire chez le garçon et la fille (cf. fig. 21).

En moyenne, DS4 apparaît :	{	3 mois $\pm$ 3.8 mois <u>après</u> le pic chez la fille
		13 mois $\pm$ 3.1 mois <u>avant</u> le pic chez le garçon
et DSM2 apparaît :	{	13 mois $\pm$ 3.6 mois <u>après</u> le pic chez la fille
		1 mois $\pm$ 3.2 mois <u>après</u> le pic chez le garçon.



**Fig. 21 : Relation des marqueurs dentaires DS4 et DSM2 avec la courbe de croissance staturale établie pour chaque sexe (Björk et Helm, 14). M représente la date d'apparition des premières règles.**

On pourrait ainsi résumer cette relation :

Chez le garçon, DS4 apparaît un an avant le maximum du pic de croissance et DSM2 au moment du maximum du pic.

Chez la fille, DS4 apparaît 3 mois après et DSM2 1 an après le maximum du pic de croissance.

### 2.5.1.2. Avantages

C'est l'indicateur de maturation dentaire le plus accessible et il ne nécessite qu'une bonne observation clinique. L'interprétation est rapide puisqu'il suffit de reporter l'observation clinique sur les tables prévues à cet effet (Sierra, 88).

Au cours de la petite enfance, l'éruption des dents de lait est un indicateur plus efficace que l'étude de l'âge squelettique (So, 91) et reste l'indicateur de choix.

### 2.5.1.3. Inconvénients

- Le stade d'éruption peut s'apprécier différemment selon l'observateur.
- Son utilisation clinique nécessite la possession d'un tableau de référence dont les valeurs correspondent à la population dont l'enfant examiné est issu (Charlet *in* 15).
- L'âge dentaire d'éruption présente une faible corrélation avec l'âge squelettique, il est moins précis que l'âge squelettique (Bergersen, 11 ; Nolla, 1960 et Van der Linden, 1976 *in* Sierra, 88) et ce d'autant plus que l'enfant se rapproche de la puberté. L'observation dentaire prend alors une valeur limitée quand le plan de traitement nécessite l'acquisition d'informations précises sur l'état du développement squelettique (Grave, 42).
- Influence des facteurs de variation généraux et locaux (cf. 1.2 *Maturation dentaire*).
- La prévision du pic de croissance staturale à l'aide d'indicateurs dentaires n'est possible que chez les garçons, ce qui diminue son intérêt pratique. De plus les auteurs estiment sa fiabilité inférieure à celle des règles et des indicateurs squelettiques (Björk et Helm, 14).

### 2.5.1.4. Conclusion

La littérature s'accorde donc à reconnaître un intérêt limité aux séquences d'éruption car, bien que statistiquement très stable à l'échelle de la population, l'éruption dentaire à l'échelle individuelle dépend de trop nombreux facteurs pour garantir une évaluation précise du niveau de maturation de l'enfant. De plus, l'apparition de la radiographie a ouvert de nouvelles perspectives dont l'étude des stades de calcification des germes dentaires.

## 2.5.2. Stades de calcification

### 2.5.2.1. Méthodes

La première étude est faite sur les premières molaires mandibulaires permanentes. Il s'agit d'une étude longitudinale réalisée en 1955 par Gleiser et Hunt. Cinq ans plus tard Nolla définit 11 stades de minéralisation dentaire numérotés de 0 (absence de crypte) à 10 (apex édifié) avec la possibilité d'utiliser une décimale pour les stades intermédiaires (cf. fig. 22). Il publie également une première table de correspondance entre ce score de maturation et l'âge civil des garçons et des filles. Une deuxième table viendra affiner la première (cf. fig. 23).

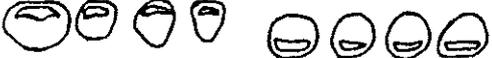
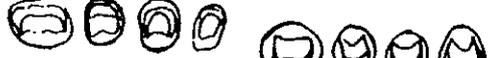
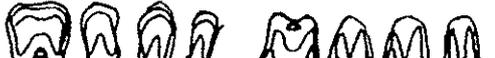
Stade	Description	
0	Absence de crypte	
1	Présence d'une crypte	
2	Début de minéralisation	
3	$\frac{1}{3}$ de couronne	
4	$\frac{2}{3}$ de couronne	
5	Couronne presque terminée	
6	Couronne terminée	
7	$\frac{1}{3}$ de racine édifié	
8	$\frac{2}{3}$ de racine édifié	
9	Racine édifiée – apex ouvert	
10	Apex fermé	

Fig. 22 : Les 11 stades de Nolla.

Age	Somme des stades de développement dentaire					
	7 dents mandibulaires		7 dents maxillaires		14 dents maxillo-mandibulaires	
	FILLES	GARCONS	FILLES	GARCONS	FILLES	GARCONS
3	24.6	22.3	22.2	18.9	46.8	41.2
4	32.7	30.3	29.6	26.1	62.3	56.4
5	40.1	37.1	37.9	33.1	78	70.2
6	46.6	43	43.4	39.6	90	82.6
7	52.4	48.7	49.5	45.5	101.9	94.2
8	57.4	53.7	54.9	50.8	112.3	104.5
9	58.4	57.9	59.6	55.5	118	113.3
10	61.3	61.5	63.4	59.5	127.7	121
11	66.3	64	64	62.6	130.3	126.6
12	67.9	66.3	67.8	65.3	135.7	131.6
13	68.9	67.8	69.2	67.3	138.1	135.1
14	69.4	69	69.7	68.5	139.1	137.5
15	69.8	69.7	69.8	69.3	139.6	130
16	70	70	70	70	140	140
17	70	70	70	70	140	140

Fig. 23 : Deuxième table de Nolla.

En 1973, Demirjian et al (25) définissent 8 stades de calcification identifiés par une lettre de A à H (cf. fig. 24). Une fois le stade identifié, il est ensuite converti en un index de maturation (ou score) qui varie en fonction de la dent concernée et du sexe de l'enfant (cf. fig. 25). Il suffit ensuite de répéter l'opération pour chacune des dents du quadrant inférieur gauche (secteur 3). En cas d'agénésie, il est indiqué de considérer la dent controlatérale).

La somme de ces 7 scores est ensuite convertie en âge dentaire à une décimale grâce au tableau fourni par les auteurs (cf. fig. 26).

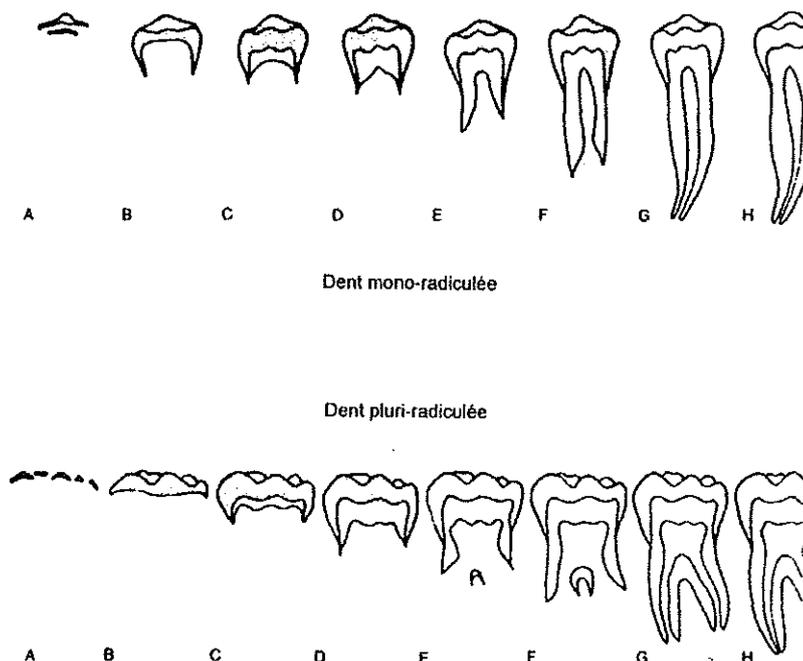


Fig. 24 : Les 8 stades de calcification de Demirjian (in Bonnefont et al, 15)

Garçon		Stade								
Dent	O	A	B	C	D	E	F	G	H	
M <sub>2</sub>	0,0	2,1	3,5	5,9	10,1	12,5	13,2	13,6	15,4	
M <sub>1</sub>				0,0	8,0	9,6	12,3	17,0	19,3	
PM <sub>2</sub>	0,0	1,7	3,1	5,4	9,7	12,0	12,8	13,2	14,4	
PM <sub>1</sub>			0,0	3,5	7,0	11,0	12,3	12,7	13,5	
C				0,0	3,5	7,9	10,0	11,0	11,9	
I <sub>2</sub>					3,2	5,2	7,8	11,7	13,7	
I <sub>1</sub>					0,0	1,9	4,1	8,2	11,8	

Fille		Stade								
Dent	O	A	B	C	D	E	F	G	H	
M <sub>2</sub>	0,0	2,7	3,9	6,9	11,1	13,5	14,2	14,5	15,6	
M <sub>1</sub>				0,0	4,5	6,2	13,5	14,0	16,2	
PM <sub>2</sub>	0,0	1,8	3,4	6,5	10,6	12,7	13,5	13,8	14,6	
PM <sub>1</sub>			0,0	3,7	7,5	11,8	13,1	13,4	14,1	
C				0,0	3,2	5,6	10,3	11,6	12,4	
I <sub>2</sub>				0,0	3,2	5,6	8,0	12,2	14,2	
I <sub>1</sub>					0,0	2,4	5,1	9,3	12,9	

NB : Stade 0 - Pas de minéralisation

Fig. 25 : Attribution du score à chaque dent selon Demirjian (in Bonnefont et al, 15)

Âge	Score		Âge	Score		Âge	Score		Âge	Score	
Â	G	F	Â	G	F	Â	G	F	Â	G	F
3.0	12,4	13,7	6.3	36,9	41,3	9.6	87,2	90,2	12.9	95,4	97,2
.1	12,9	14,4	.4	36,9	41,3	.7	87,7	90,7			
.2	13,5	15,1	.5	39,2	43,9	.8	88,2	91,1	13.0	95,6	97,3
.3	14,0	15,8	.6	40,6	45,2	.9	88,6	91,4	.1	95,7	97,4
.4	14,5	16,6	.7	42,0	46,7				.2	95,8	97,5
.5	15,0	17,3	.8	43,6	48,0	10.0	89,0	91,8	.3	95,9	97,6
.6	15,6	18,0	.9	45,1	49,5	.1	89,3	92,3	.4	96,0	97,7
.7	16,2	18,8				.2	89,7	92,3	.5	96,1	97,8
.8	17,0	19,5	7.0	46,7	51,0	.3	90,0	92,6	.6	96,2	98,0
.9	17,6	20,3	.1	48,3	52,9	.4	90,3	92,9	.7	96,3	98,1
			.2	50,0	55,5	.5	90,6	93,2	.8	96,4	98,2
4.0	18,2	21,0	.3	52,0	57,8	.6	91,0	93,5	.9	96,5	98,3
.1	18,9	21,8	.4	54,3	61,0	.7	91,3	93,7			
.2	19,7	22,5	.5	56,8	65,0	.8	91,6	94,0	14.0	96,6	98,3
.3	20,4	23,2	.6	59,6	68,0	.9	91,8	94,2	.1	96,7	98,4
.4	21,0	24,0	.7	62,5	71,8				.2	96,8	98,5
.5	21,7	24,8	.8	66,0	75,0	11.0	92,0	94,5	.3	96,9	98,6
.6	22,4	25,6	.9	69,0	77,0	.1	92,2	94,7	.4	97,9	99,5
.7	23,1	26,4				.2	92,5	94,9	.5	97,1	98,8
.8	23,8	27,2	8.0	71,6	78,8	.3	92,7	95,1	.6	97,2	98,9
.9	24,6	28,0	.1	73,5	80,2	.4	92,9	95,3	.7	97,3	99,0
			.2	75,1	81,2	.5	93,1	95,4	.8	97,4	99,1
5.0	25,4	28,9	.3	76,4	82,2	.6	93,3	95,6	.9	97,5	99,1
.1	26,2	29,7	.4	77,7	83,1	.7	93,5	95,8			
.2	27,0	30,5	.5	79,0	84,0	.8	93,7	96,0	15.0	97,6	99,2
.3	27,8	31,3	.6	80,2	84,8	.9	93,9	96,2	.1	97,7	99,3
.4	28,6	32,1	.7	81,2	85,3				.2	97,8	99,4
.5	29,5	33,0	.8	82,0	86,1	12.0	94,0	96,3	.3	97,8	99,5
.6	30,3	34,0	.9	82,8	86,7	.1	94,2	96,4	.4	97,9	99,5
.7	31,1	35,0				.2	94,4	96,5	.5	98,0	99,6
.8	31,8	36,0	9.0	83,6	87,2	.3	94,5	96,6	.6	98,1	99,6
.9	32,6	37,0	.1	84,3	87,8	.4	94,6	96,7	.7	98,2	99,7
			.2	85,0	88,3	.5	94,8	96,8	.8	98,2	99,8
6.0	33,6	38,0	.3	85,6	88,8	.6	95,0	96,9	.9	98,3	99,9
.1	34,7	39,1	.4	86,2	89,3	.7	95,1	97,0			
.2	35,8	40,2	.5	86,7	89,8	.8	95,2	97,1	16.0	98,4	100,0

Fig. 26 : Obtention de l'âge dentaire selon Demirjian (in Bonnefont et al, 15)

En 1980, Bloquel et al (*in* 15) publient une étude qui se restreint à la deuxième molaire permanente maxillaire.

En 1985 Proy et Gaultier (*in* 15) publient des tables de maturation dentaire.

### 2.5.2.2. Avantages

Cette méthode est moins variable et donc plus précise que l'étude des stades d'éruption dentaire (Nolla *in* Sierra, 88).

### 2.5.2.3. Inconvénients

- Pour Proy et Gaultier (*in* 15), il n'est pas justifié :
  - De se consacrer à certaines dents en particulier.
  - De privilégier certains stades de minéralisation en leur affectant un score plus important (travaux de Demirjian, 25).
- Le stade de calcification peut s'apprécier différemment selon l'observateur et la qualité de la radiographie.
- Il est nécessaire de posséder un tableau de références correspondant à la population dont l'enfant examiné est issu (Charlet *in* 15).
- L'âge dentaire reste soumis à l'influence des facteurs de variation généraux et locaux (*cf.* 1.2 *Maturation dentaire*).

### 2.5.2.4. Conclusion

Le développement des arcades dentaires étant très lié au développement des germes dentaires sous-jacents, il apparaît indispensable d'étudier la maturation du système dentaire puisqu'elle nous renseigne sur la vitesse de maturation des arcades. Pour ce faire, la méthode à privilégier est l'étude des niveaux de calcification des germes qui apparaît plus fiable (car plus indépendante des facteurs locaux) que l'étude des stades d'éruption. Notons par ailleurs que les classifications des fig.22 à 26 ne tiennent pas compte de la troisième molaire dont l'apparition témoigne pourtant d'un niveau supérieur de maturation.

Quoiqu'il en soit, l'âge dentaire semble moins précis que d'autres indicateurs pour indiquer la puberté. Ceci est probablement dû au fait que l'organe dentaire est beaucoup plus indépendant des sécrétions hormonales que les autres tissus (Mauchamp et Nanda *in* Bonnefont et al, 15) et explique pourquoi l'âge dentaire n'est pas considéré aujourd'hui comme le moyen le plus précis de détermination du niveau de maturation de l'enfant (Cox, 23).

## 2.6. L'âge squelettique

La recherche d'une bonne méthode permettant d'apprécier la maturation squelettique de l'enfant sans être soumis à l'obligation de mesures répétées de taille staturale a conduit à s'intéresser aux documents radiographiques disponibles.

Ayant mis en avant l'intérêt particulier de la maturation squelettique comme indicateur fiable du niveau de maturité atteint par l'enfant, il nous faut maintenant passer en revue les différentes méthodes d'évaluation accessibles à l'orthodontiste, en essayant de discerner les avantages et les inconvénients inhérents à chacune d'elles.

### 2.6.1. Classification

L'appréciation du degré de maturation osseuse se fait au moyen de la radiographie qui, suivant l'âge, montre :

- L'apparition
  - des noyaux primaires et secondaires d'ossification
  - des soudures épiphyso-diaphysaires
- La modification dans le temps des points d'ossification (en forme et en volume) par la prise de clichés successifs.

Historiquement, les premières radiographies concernaient le squelette dans son ensemble (méthode plurisegmentaire) afin d'étudier le maximum de noyaux osseux. Aujourd'hui la radiographie ne concerne qu'un seul segment choisi en fonction de l'âge de l'enfant (méthode unisegmentaire).

Les méthodes d'évaluation sont très nombreuses, d'où la nécessité de les classer. On peut le faire selon la méthodologie qu'elles emploient (quantitatives, qualitatives, de cotation, ...) ou selon le site anatomique étudié.

#### 2.6.1.1. Selon la méthodologie employée

##### 2.6.1.1.1. Méthodes métriques

Leur objectif est de **mesurer** pour chaque os le diamètre et la surface osseuse apparente, et de comparer les résultats obtenus aux valeurs des tableaux de référence. Aujourd'hui elles ne sont plus employées.

### 2.6.1.1.2. Méthodes quantitatives

#### 2.6.1.1.2.1. Description

Ce sont des méthodes plurisegmentaires qui consistaient :

- à radiographier les articulations de l'hémi-squelette gauche (par convention, depuis le congrès de Monaco en 1906).
- à **compter** les centres d'ossification présents chez l'enfant de moins de 15 ans et les épiphyses soudées chez l'enfant de plus de 15 ans.
- à reporter ces résultats dans une table de référence (dont la première édition par Elgenmark date de 1946, *in* Bonnefont et al, 15).

#### 2.6.1.1.2.2. Inconvénients

Cette méthode :

- était extrêmement irradiante, et n'est plus appliquée aujourd'hui.
- Ne correspond pas à ce que l'on connaît aujourd'hui de la biologie osseuse. En effet, les premiers noyaux d'ossification se forment depuis le stade fœtal jusqu'à la cinquième année civile, et les premières fusions épiphyso-diaphysaires n'apparaissent pas avant 12 ans. Cette méthode n'est donc pas adaptée entre 5 et 12 ans, qui est pourtant la période privilégiée pour initier un traitement d'Orthopédie Dento-Faciale (ODF).

### 2.6.1.1.3. Méthodes chronologiques

#### 2.6.1.1.3.1. Description

Elles introduisent l'âge chronologique comme paramètre de référence à l'évaluation. C'est lui qui détermine :

- Le segment osseux à radiographier
- Si la **présence** ou l'**absence** des points d'ossification est justifiée, en se rapportant à une table de référence indiquant les âges moyens et extrêmes d'apparition des noyaux osseux.

#### 2.6.1.1.3.2. Avantages

Méthodes plus précises et moins irradiantes que les méthodes quantitatives. Parmi elles, Lefebvre et Koifman (*in* Rohr, 81) introduisent une table de référence tenant compte du dimorphisme sexuel en distinguant les garçons et les filles (cf. fig. 27).



- 1979 : Sempé et Pavia (87) publient un atlas de la main et du poignet concernant la population française.

Les atlas les plus couramment employés pour évaluer la maturation squelettique de l'enfant sont les suivants :

<p>main et poignet (cf. 2.6.1.2.2)</p>	<p>Atlas de Greulich et Pyle Atlas de Sempé et Pavia</p>
<p>vertèbres cervicales (cf. 2.6.1.2.5)</p>	<p>Atlas de Lamparski</p>

Leurs méthodologies, avantages et inconvénients seront détaillés dans le chapitre suivant (2.6.1.2).

#### 2.6.1.1.5. Méthodes des cotations

Elles sont issues des méthodes qualitatives mais, au lieu de comparer la radiographie à une autre considérée comme statistiquement représentative de l'âge civil (méthode de l'atlas), elles attribuent une **cotation** (un score) à chaque os présent selon son stade de maturation. Ainsi est évaluée la maturation effective de chaque os, et de l'ensemble par addition de ces scores aboutissant à une cotation globale et ce sans se référer à l'âge de l'enfant. Ces cotations globales sont ensuite comparées aux scores moyens statistiquement représentatifs de chaque âge.

Les méthodes actuelles de cotation regroupent selon la zone radiographiée :

<p>Main et poignet (cf. 2.6.1.2.2)</p>	<p>La méthode de cotation de Tanner La méthode de cotation de Sempé</p>
<p>Coude (cf. 2.6.1.2.4)</p>	<p>La méthode de cotation de Sauvegrain, Nahum, et Bronstein</p>

Leurs méthodologies, avantages et inconvénients seront détaillés dans le chapitre suivant (2.6.1.2).

### 2.6.1.2. Selon la zone radiographiée

Nous examinons maintenant les différentes méthodes d'évaluation de la maturation osseuse en privilégiant la zone radiographiée.

Chaque méthode basée sur l'étude d'une radiographie présuppose la définition d'un protocole standardisé :

- pour la prise du ou des cliché(s).
- pour la lecture de la radiographie
- pour l'interprétation des résultats.

Et présente ses avantages et ses inconvénients.

Nous nous efforcerons dans la mesure du possible de suivre le plan suivant pour chaque méthode présentée :

*Technique de prise des clichés radiographiques*

*Lecture des clichés radiographiques*

*Interprétation des résultats*

*Avantages*

*Inconvénients*

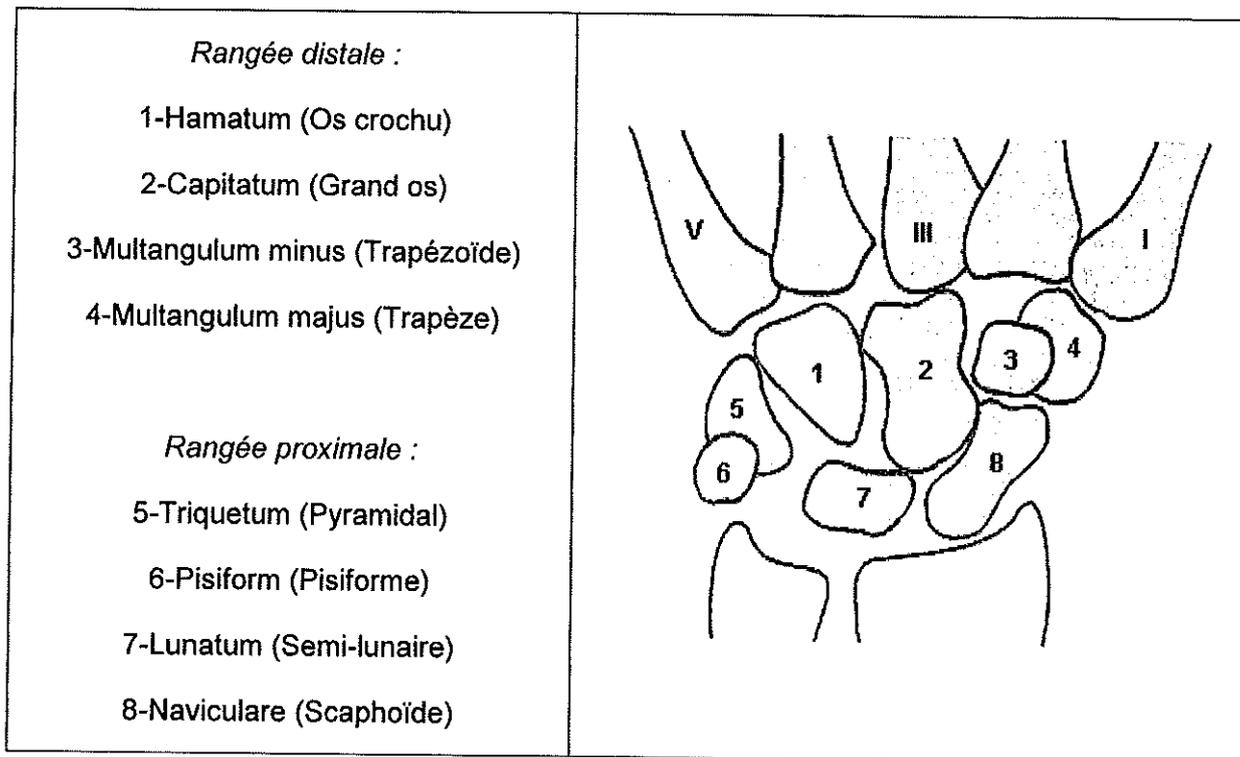
#### 2.6.1.2.1. Radio du poignet (carpe)

Elle ne servit dans un premier temps qu'à déceler un asynchronisme entre la maturation osseuse et la maturation dentaire. Ce n'est que par la suite que l'on s'intéressa à la croissance staturale et à ses rapports avec la croissance faciale (Altounian, 5).

La décision de Todd (*in* Bonnefont et al, 15) de s'intéresser au **poignet gauche** est essentiellement due au contexte du début du XIX<sup>e</sup> siècle. En pleine ère industrielle, les accidents du travail sont nombreux et conduisent la *Conference of Physical Anthropologists* à recommander au monde scientifique l'étude des mains et poignets gauches dans une population très majoritairement droitnière (Congrès de Monaco en 1906 et de Genève en 1912). Cette décision ne sera pas remise en cause par les études scientifiques ultérieures qui viendront au contraire confirmer que l'étude d'un seul côté reste suffisant pour la détermination de l'âge osseux, la différence de maturation éventuellement observée entre les deux poignets n'étant pas supérieure à la variation inhérente à la méthode elle-même.

Anatomiquement, le poignet comprend les 8 os courts formant le carpe ainsi que les extrémités distales du radius et du cubitus. Très souvent dans la littérature, les termes de poignet et de carpe sont utilisés de manière équivalente.

Ainsi la radio du « poignet » se concentre sur l'étude des 8 os du carpe organisés en deux rangées successives (classification de Lyster, *in* Bonnefont et al, 15) :



**Fig. 28 : Anatomie du poignet.**

#### **2.6.1.2.1.1. Technique de prise des clichés radiographiques**

Elle est identique à la prise de cliché de la main (Cf. *Radio de la main* (2.6.1.2.2.1))

#### **2.6.1.2.1.2. Lecture des clichés radiographiques**

Rappelons que, de manière générale, il est important de toujours analyser une radiographie selon un ordre constant. Celui-ci varie cependant selon les auteurs. (cf. *Rradio de la main* 2.6.1.2.2)

#### **2.6.1.2.1.3. Interprétation des résultats**

L'analyse qui en est faite est **qualitative** en référence à l'atlas de Greulich et Pyle (43).

#### **2.6.1.2.1.4. Avantages**

Elle permet d'estimer de façon rigoureuse un âge osseux par comparaison avec une référence.

#### **2.6.1.2.1.5. Inconvénients**

Les changements radiologiques sont **discrets** pendant la période juvénile et à l'approche du pic pubertaire, ce qui ne contribue pas à son repérage (Hagg et Pancherz, 46). En revanche, le nombre d'indicateurs carpiens augmente après le pic. Cependant leur intérêt est moindre pour l'orthodontiste.

#### 2.6.1.2.1.6. Conclusion

La radio du poignet s'avère utile pour apprécier l'état de maturation de l'enfant, et ce d'autant plus qu'il est sujet à des troubles de croissance. Toutefois, elle a été supplantée par la radio de la main dont l'étude permet d'affiner l'évaluation de la maturation osseuse.

#### 2.6.1.2.2. Radio de la main

Elle s'est imposée face à la radio du poignet parce qu'elle présente l'avantage de rassembler 33 os, osselets, sésamoïdes, et épiphyses, soit plus que toutes les autres articulations de l'hémicorps réunies. De plus Bowden cité par Moore (73) rappelle que les changements épiphysaires observés au niveau des os de la main et du poignet sont séquentiels et prévisibles.

Elle a donné lieu à un grand nombre d'études et de méthodes d'évaluation. Nous rassemblons ici les principales en fonction de leur méthodologie.

#### 2.6.1.2.2.1. Technique de prise des clichés radiographiques

##### 2.6.1.2.2.1.1. Radio de la main et du poignet

Incidence de face (dorso-palmaire).  
Distance foyer film = 1m.  
Cassette 18 x 24.  
Petit foyer, 45kV (main), 50kV (carpe).  
Centrage sur le 3° métacarpien.

Le sujet est en position assise. La main est posée sur la cassette perpendiculairement au faisceau de rayons X, et l'avant-bras en pronation repose sur le plan de la table. La radiographie englobe la main, le poignet, et le maximum de diaphyses radiale et cubitale. Le pouce est à droite et les doigts sont orientés en haut. L'axe vertical de la main et du poignet passe par le radius, le semi-lunaire, le grand os, le 3° métacarpien et la colonne du médus.

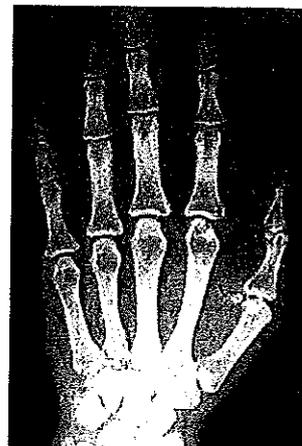
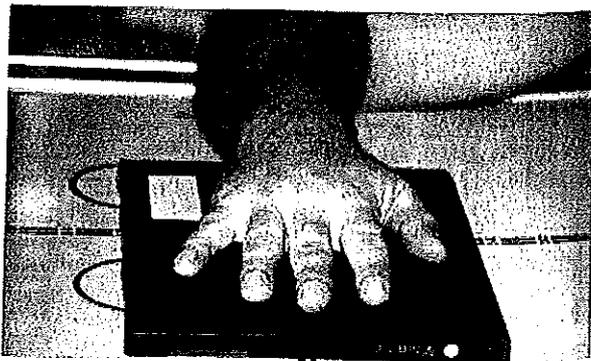


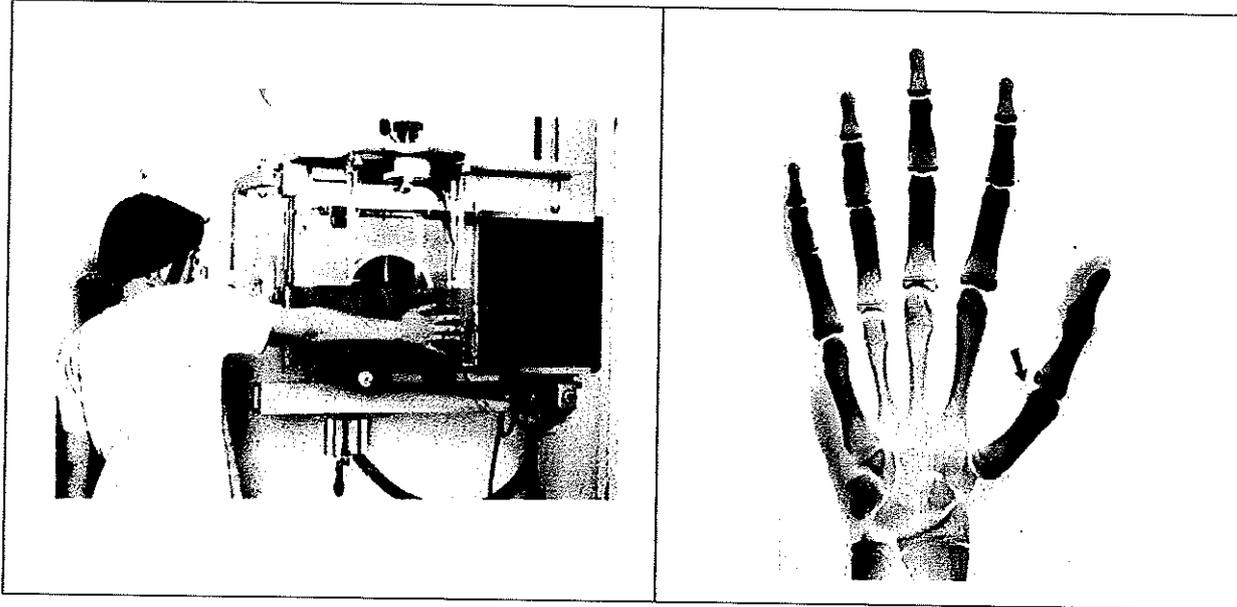
Fig. 29 : Cliché radiographique de la main d'après Punter (79).

Björk et Helm ont établi qu'il était possible de réaliser la radio de la main en adaptant le matériel de téléradiographie disponible au cabinet d'orthopédie dento-faciale (cf. fig. 30).

Les paramètres sont alors :

Une distance foyer/film de 190cm

Une tension de 60 kV. (Cette tension est nettement supérieure à celle préconisée en radiologie, ayant pour conséquence une moins bonne visibilité des tissus mous). Cependant l'utilisation de filtre et surtout de la technologie numérique permet de pallier à cet inconvénient.



*Fig. 30 : Cliché radiographique de la main au cabinet, d'après Björk et Helm (14).*

Deux possibilités s'offrent donc au praticien selon les impératifs de gestion du cabinet.

#### **2.6.1.2.2.1.2. Radio localisée à l'aide du cône dentaire**

Certaines méthodes d'évaluation du niveau atteint de maturation osseuse ne préconisent qu'une observation radiographique très localisée :

- une articulation : MP3 (1, 2, 66) ou DP1 (38)
- ou un os : Sésamoïde ulnaire (14)

Dans ces deux cas il est préconisé d'utiliser la technique radiographique au long cône dentaire permettant de diminuer à la fois la dose d'irradiation et le coût du cliché (cf. fig. 31).

### Exemple pour une radiographie de l'articulation MP3

Incidence de face (dorso-palmaire)  
Distance foyer-film = environ deux centimètres  
Film rétro-alvéolaire 30mm x 20mm  
Foyer 60 kV  
Temps d'exposition : variable selon la technique (argentique ou numérique)  
Centrage sur le 3<sup>e</sup> métacarpien.

Le sujet est en position assise. La main est :

- > posée à plat perpendiculairement au faisceau de rayons X (cf. fig. 31a),
- > ou l'enfant ne présente que le médius au bord de la table, les autres doigts étant recourbés (cf. fig. 31b)

Dans les deux cas le doigt est orienté selon le grand axe du film de telle sorte que l'articulation soit placée au centre du film. Le cône dentaire est placé au contact du doigt.

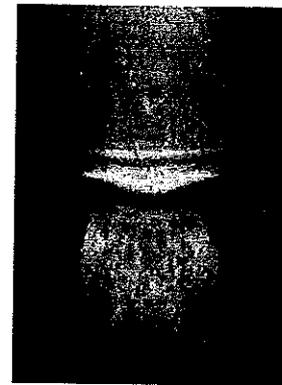
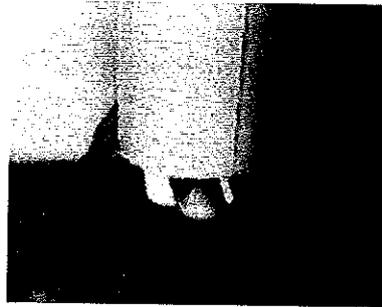


Fig. 31 a : Cliché radiographique localisé à l'aide du cône dentaire selon AbdelKader (2)  
Fig. 31 b, c : selon Madhu (66).

#### 2.6.1.2.2.2. Méthode d'analyse qualitative

##### 2.6.1.2.2.2.1. Atlas de Greulich et Pyle

Paru en 1950 et remanié en 1959, il s'agit de la méthode la plus utilisée aujourd'hui à travers le monde pour déterminer l'âge osseux d'un enfant. C'est aussi la première méthode à avoir rassemblé comme échantillon de référence un échantillon spécifique où les âges osseux sont égaux aux âges chronologiques. Ainsi les radiographies de l'atlas sont fréquemment identiques à celles d'enfants situés au sommet de la courbe de Gauss pour un sexe et un âge donné.

Les radiographies ont été réalisées :

1. tous les trois mois pendant la première année
2. tous les six mois jusqu'à cinq ans
3. tous les ans jusqu'à maturité complète.

L'objectif de cet atlas est de déterminer l'âge osseux moyen à tous les âges chronologiques.

### 2.6.1.2.2.1.1. Lecture des clichés radiographiques

#### Extrémités distales du radius et du cubitus

Carpe, avec la séquence Grand os, Os crochu, Pyramidal, Semi-lunaire, Scaphoïde, Trapèze, Trapézoïde, et Pisiforme en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (cf. fig. 32).

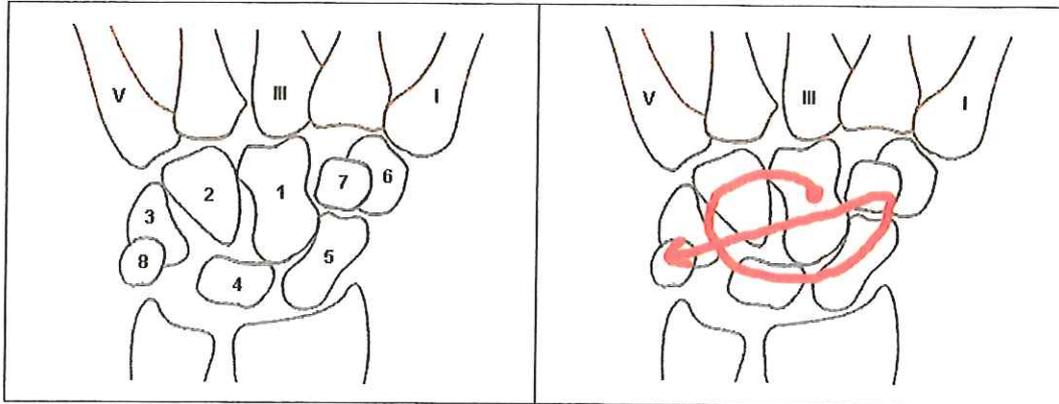


Fig. 32 : Ordre de lecture des os du carpe d'après Greulich et Pyle (43).

#### Métacarpes

#### Phalanges

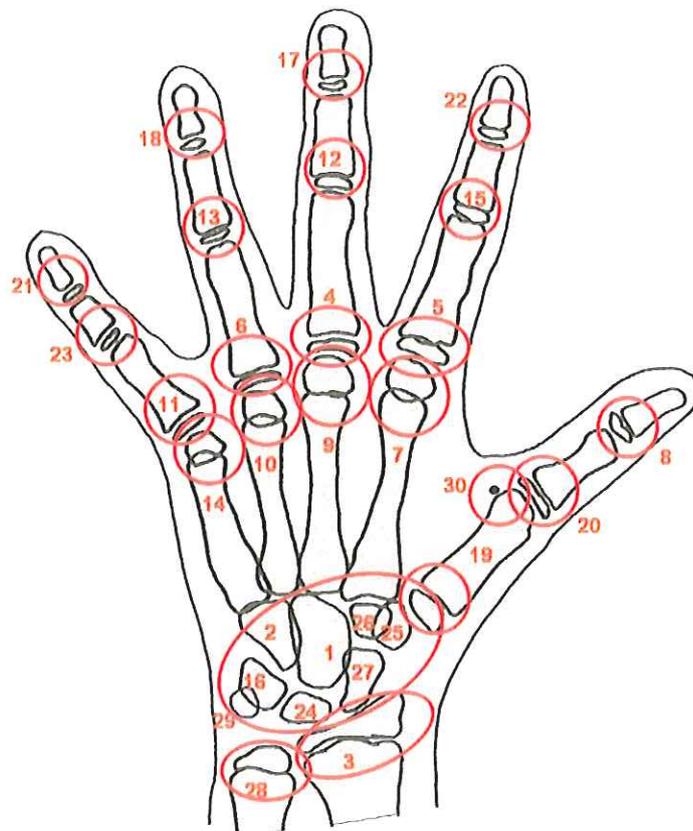


Fig. 33 : Ordre de lecture des os de la main d'après Greulich et Pyle (43).

Il faudra veiller à surveiller essentiellement l'apparition des os du carpe et des épiphyses.

Puis, chaque os fera l'objet d'une étude évolutive.

#### **2.6.1.2.2.1.2. Interprétation des résultats**

Le fait que les radiographies ne présentent aucun décalage entre l'âge osseux et l'âge civil de l'enfant explique également pourquoi les radiographies de l'atlas de Greulich et Pyle (43) ne correspondent que rarement à la radiographie examinée. Il faut donc bien souvent rechercher le standard le plus ressemblant (par exemple, si une radiographie semble à mi-chemin entre deux standards, l'âge osseux sera établi comme la moyenne des âges des deux standards).

En présence d'une anomalie, il est conseillé de déterminer l'âge osseux des points d'ossification les plus avancés et l'âge osseux des points d'ossification les plus retardés, puis de suivre ces deux âges à chaque contrôle de croissance afin d'évaluer sur la durée si le développement s'harmonise (diminution de l'écart) ou non.

Concernant la **précision de la méthode**, elle semble varier avec l'âge de  $\pm 6$  mois avant 8 ans jusqu'à  $\pm 12$  mois après 8 ans. Les auteurs estiment qu'elle peut atteindre 6 mois avec une pratique régulière. Pour Mainland (67), la précision de la méthode est plus grande lorsque le sujet est suivi sur une longue période couvrant plusieurs examens radiographiques. Elle a été évaluée à  $\pm 8$  mois avec un coefficient de sécurité de 95%.

Enfin signalons que l'atlas de Greulich et Pyle (43) n'est pas exclusivement qualitatif et qu'il présente en fin d'ouvrage une évaluation « quantitative » complémentaire permettant d'affiner la correspondance entre la radiographie étudiée et les planches de l'atlas.

#### **2.6.1.2.2.1.3. Avantages**

L'atlas constitue un référentiel aisément consultable rassemblant les différents aspects successifs que prennent les clichés radiographiques tout au long du développement de l'enfant. La méthode est donc simple, pratique, rapide, et éprouvée.

- Simple : une seule radio du poignet est nécessaire. Le coût et l'irradiation qui en résultent sont tout à fait compatibles avec un contrôle régulier de la croissance osseuse.
- Pratique : chaque radiographie est accompagnée d'une analyse séquentielle décrivant chaque évènement susceptible de se produire.
- Rapide : l'interprétation de l'âge osseux est rapide. Quelques minutes suffisent pour comparer une radiographie à l'atlas.
- Eprouvée : son utilisation dans beaucoup de centres médicaux à travers le monde a prouvé l'adéquation de la méthode avec une analyse quotidienne de la maturation osseuse.

#### **2.6.1.2.2.1.4. Inconvénients**

- L'échantillon concerne une population nord américaine dont on sait la différence de vitesse de maturation avec la population française. La vitesse de maturation d'un enfant étant soit rapide soit lente, l'âge osseux n'est que rarement identique à l'âge chronologique. La correspondance avec les standards de l'atlas est donc peu fréquente, ce qui augmente le travail d'interprétation de la radiographie et introduit une dose de variabilité liée au choix que fait l'opérateur entre l'une ou l'autre des radiographies de l'atlas. De plus cet échantillon de référence est né en 1940, et l'atlas n'a pas été réactualisé depuis.
- La même valeur est attribuée à tous les points d'ossification.

- Le principe de faire référence à un atlas n'est pas valide si on présuppose que l'âge chronologique observé prédétermine la « normalité » de l'âge osseux.
- Cet atlas ne tient pas compte du dimorphisme sexuel.

#### 2.6.1.2.2.2. *Atlas de Sempé et Pavia*

En 1979, Sempé et Pavia (87) éditent un atlas différenciant pour chaque sexe l'évolution maturationnelle de 3 garçons et 4 filles européens choisis pour la régularité de leur surveillance clinique et radiologique parmi 265 garçons et 235 filles.

Servant d'introduction à l'étude numérique développée par Sempé, cet atlas met en avant :

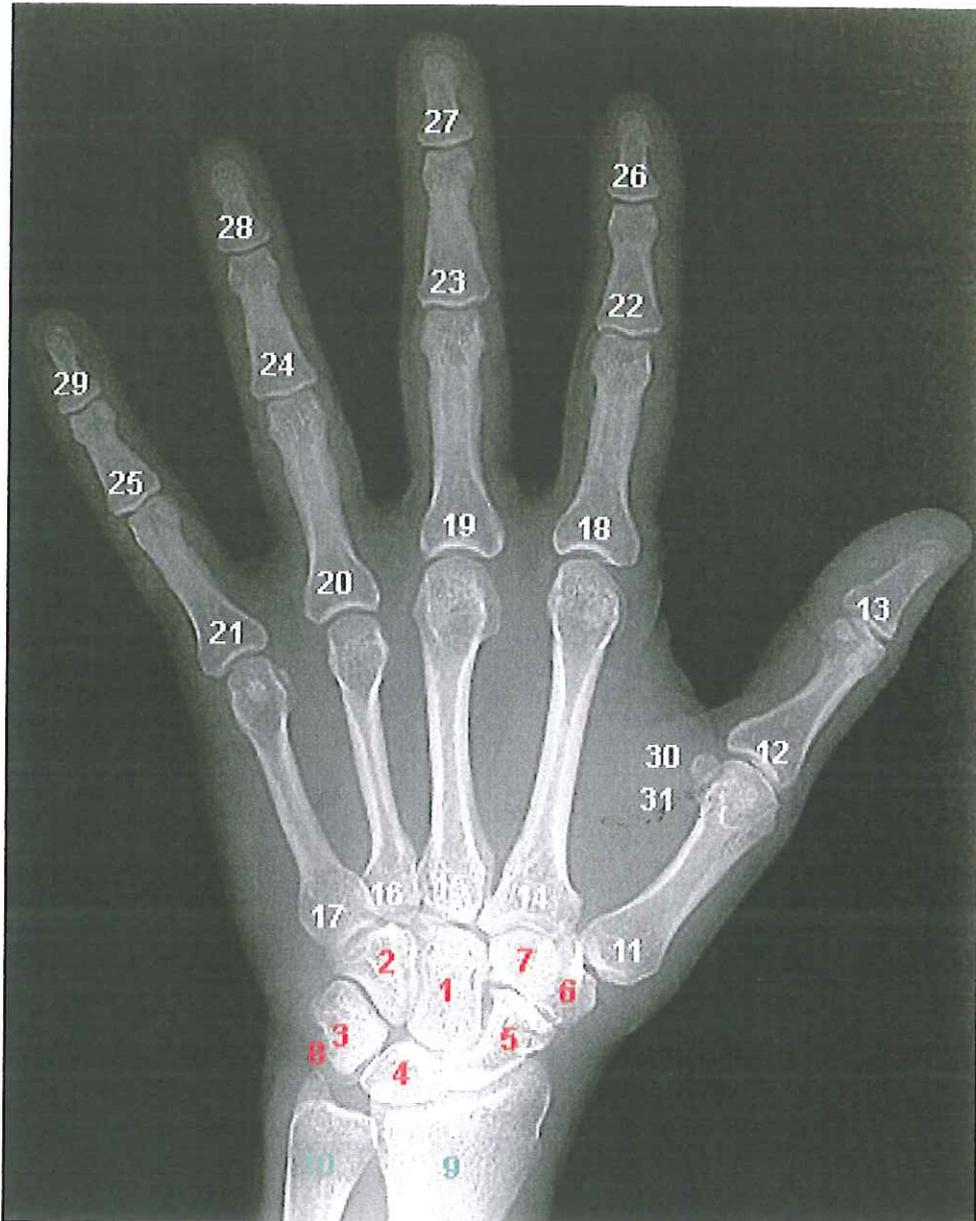
- La nécessité de différencier la maturation des garçons de celle des filles.
- L'importance d'étudier la modification de forme et de dimensions des centres d'ossification primaires (os courts) et secondaires (os longs) et des soudures épiphysodiaphysaires.
- La difficulté à définir une norme puisque chaque os mature différemment chez un même sujet et d'un sujet à l'autre (cf. 1.2.3.3).

#### 2.6.1.2.2.2.1. *Lecture des clichés radiographiques*

Carpe : *idem* Greulich et Pyle (cf. fig. 32).

Epiphyses du radius et du cubitus

Epiphyses des os longs de la main en étudiant séparément le pouce et l'auriculaire puis ensemble les trois autres doigts.



*Fig. 34 : Ordre de lecture des os de la main d'après Sempé et Pavia (87).*

### 2.6.1.2.2.2.2. Interprétation des résultats

Les 31 indicateurs de maturation sont séparés en trois groupes A, B, C correspondant respectivement aux os courts du poignet, aux os longs du poignet, et aux os longs de la main.

Le tableau de la figure 35 présente la date d'apparition de chaque indicateur sous la forme de 9 chiffres séparés en 3 groupes de 3 chiffres indiquant de gauche à droite la date la plus précoce (-2DS), la date moyenne, et la date la plus tardive (+2DS) admissibles.

Exemple :

GARÇONS				FILLES		
000.003.006 000.006.009 012.036.054 108.132.156 024.054.084 054.078.102 054.078.102 048.078.102	OS COURTS DU POIGNET = OS DU CARPE	01. Grand os (Capitulum) 02. Os crochu (Hamatum) 03. Pyramidal (Triquetrum) (08) Pisiforme 04. Semi-lunaire (Lunatum) 05. Scaphoïde (Naviculare) 06. Trapèze (Multangulum majus) 07. Trapézoïde (Multangulum minus)		000.003.006 000.003.009 012.030.048 084.108.132 018.042.078 042.060.084 030.054.084 036.054.094		
009.018.030 066.084.114		OS LONGS DU POIGNET	09. Radius 10. Cubitus (Ulna)		009.012.024 060.078.102	
024.030.042 024.036.054 132.156.180 138.168.186 012.024.030	OS LONGS DE LA MAIN	POUCE	11. 1er Métacarpien 12. 1ère Phalange I (30) 1er Sésamoïde 1 (31) 2° Sésamoïde 1 13. 2° Phalange 1	01 2.018.030 018.024.036 114.132.150 126.144.161 009.018.030		
024.030.042 018.024.030 024.030.042 030.036.042			INDEX	14. II° Métacarpien 18. 1ère Phalange II 22. 2° Phalange II 26. 3° Phalange II	012.018.030 009.012.024 018.024.036 018.024.036	
024.030.042 018.024.030 024.030.042 030.036.042			MEDIUS	15. III° Métacarpien 19. 1ère Phalange III 23. 2° Phalange III 27. 3° Phalange III	012.018.030 009.012.024 018.024.036 018.024.036	
024.030.042 018.024.030 024.030.042 030.036.042			ANNULAIRE	16. IV° Métacarpien 20. 1ère Phalange IV 24. 2° Phalange IV 28. 3° Phalange IV	012.018.030 009.012.024 018.024.036 018.024.036	
024.030.042 018.024.030 024.030.042 030.036.042			AURICULAIRE	17. V° Métacarpien 21. 1ère Phalange V 25. 2° Phalange V 29. 3° Phalange V	012.018.030 009.012.024 018.024.036 018.024.036	
(1) Pour tous les os longs, il s'agit toujours de leurs épiphyses proximales ou distales isolées.						

Fig. 35 : Interprétation de l'âge osseux d'après Sempé et Pavia (87).

### 2.6.1.2.2.2.3. Avantages

On retrouve ici les mêmes avantages exposés précédemment, à la différence que cet atlas tient compte de la notion de dimorphisme sexuel et de ses conséquences dans l'observation de la maturation de l'enfant.

Enfin, le groupe de référence est un échantillon européen qui nous est plus contemporain que celui de l'atlas de Greulich et Pyle (43).

### 2.6.1.2.2.2.4. Inconvénients

- La même valeur est attribuée à tous les points d'ossification.
- Le principe de faire référence à un atlas n'est pas valide si on présuppose que l'âge chronologique observé prédétermine la « normalité » de l'âge osseux.
- Longueur de l'analyse.

### 2.6.1.2.2.2.5. Synthèse des avantages et inconvénients des atlas :

	Greulich et Pyle	Sempé et Pavia
AVANTAGES	<p>L'atlas constitue un référentiel aisément consultable rassemblant les différents aspects successifs que prennent les clichés radiographiques tout au long du développement de l'enfant. La méthode est donc simple, pratique et rapide, et éprouvée.</p> <p><b>Simple</b> : une seule radio du poignet est nécessaire. Le coût et l'irradiation qui en résultent sont tout à fait compatibles avec un contrôle régulier de la croissance osseuse.</p> <p><b>Pratique</b> : chaque radiographie est accompagnée d'une analyse séquentielle décrivant chaque événement susceptible de se produire.</p> <p><b>Rapide</b> : l'interprétation de l'âge osseux est rapide. Quelques minutes suffisent à un expérimentateur entraîné pour comparer une radiographie à l'atlas.</p> <p><b>Eprouvée</b> : son utilisation dans beaucoup de centres médicaux à travers le monde a prouvé l'adéquation de la méthode avec une analyse quotidienne de la maturation osseuse.</p>	
		<p>Cet atlas tient compte de la notion de <b>dimorphisme sexuel</b> et de ses conséquences dans l'observation de la maturation de l'enfant.</p> <p>Le groupe de référence est un <b>échantillon européen</b> qui nous est plus <b>contemporain</b> que celui de l'atlas de Greulich et Pyle.</p>

	Greulich et Pyle	Sempé et Pavia
<b>INCONVENIENTS</b>	<p>Le <b>principe de faire référence</b> à un atlas n'est pas valide si on présuppose que l'âge chronologique observé prédétermine la « normalité » de l'âge osseux (Fishman, 32).</p> <p>La <b>même valeur</b> est attribuée à tous les points d'ossification, alors que seuls certains marqueurs sont réellement fiables dans l'estimation de l'âge osseux.</p> <p>La littérature s'accorde pour rappeler que l'interprétation des résultats demande l'œil averti d'un <b>expérimentateur entraîné</b> ( les variations morphologiques des os du carpe sont très faibles d'un âge à l'autre). Dans le cas contraire, les résultats seront imprécis et la marge d'erreur augmentée.</p> <p>L'analyse complète nécessite un <b>temps incompatible avec la pratique clinique</b>, ce qui réserve ces méthodes à l'expérimentation scientifique.</p>	
	<p><b>L'échantillon concerne une population nord américaine</b> dont on sait la différence de vitesse de maturation avec la population française. La vitesse de maturation d'un enfant étant soit rapide soit lente, l'âge osseux n'est que rarement identique à l'âge chronologique. La correspondance avec les standards de l'atlas est donc peu fréquente, ce qui augmente le travail d'interprétation de la radiographie et introduit une dose de variabilité liée au choix que fait l'opérateur entre l'une ou l'autre des radiographies de l'atlas. De plus <b>cet échantillon de référence est né en 1940</b>, et l'atlas n'a pas été réactualisé depuis.</p> <p>Cet atlas ne tient pas compte du <b>dimorphisme sexuel</b>.</p>	

#### 2.6.1.2.2.3. *Méthode de Björk*

Elle se fonde sur le quasi-synchronisme de croissance des os longs (en particulier de la stature) avec la maturation des os de la main (Loreille, 65). Son étude porte donc principalement sur l'observation de la soudure épiphysio-diaphysaire de certaines phalanges de la main puisque, comme le rappelle Falkner, la soudure complète d'un noyau épiphysaire entraîne l'arrêt de la capacité de croissance en longueur de l'os.

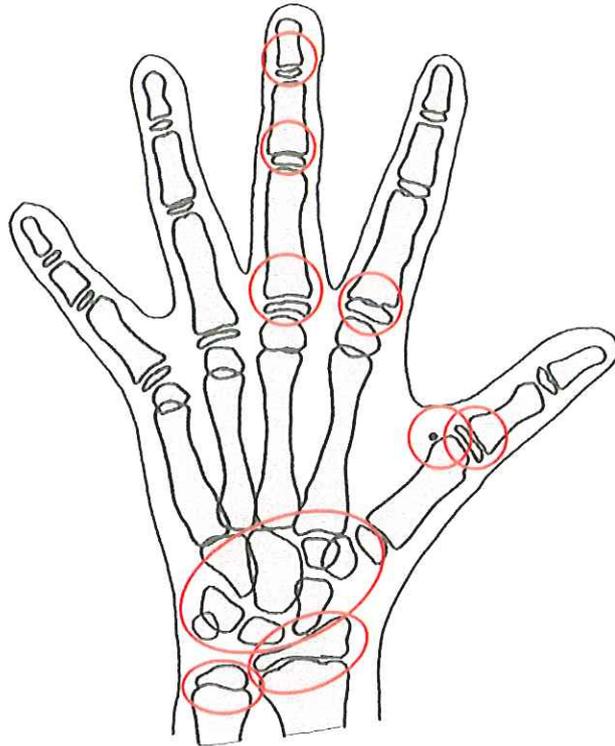
##### 2.6.1.2.2.3.1. *Lecture des clichés radiographiques*

La figure 36 montre les éléments qui sont recherchés par Björk à la lecture de la radiographie :

- Les extrémités distales du radius et du cubitus
- Les os du carpe
- Les articulations des doigts. L'observation porte sur le degré de soudure de la jonction épiphysio-diaphysaire des os (longs) de la main.

Trois stades successifs sont recherchés pour chaque articulation : (Loreille, 65)

- Le **stade « égal » (=)** qui est défini comme le moment où la diaphyse et l'épiphyse ont la même largeur.
- Le **stade « cap » (cap)** quand l'épiphyse déborde la diaphyse pour la coiffer comme un casquette (« cap » en anglais), l'extrémité de l'épiphyse formant un angle aigu.
- Le **stade « union » (u)** lorsque diaphyse et épiphyse sont fusionnées.



<b>Stade PP2 =</b>	L'épiphyse de la première phalange du 2° doigt est aussi large que sa diaphyse.
<b>Stade S*</b>	Apparition de l'os sésamoïde en regard de l'extrémité proximale de la diaphyse de la première phalange du premier doigt.
<b>Stade MP3 =</b>	L'épiphyse de la deuxième phalange du 3° doigt est aussi large que sa diaphyse.
<b>Stade PP1 cap</b>	L'épiphyse de la première phalange du pouce déborde sa diaphyse.
<b>Stade MP3 cap</b>	L'épiphyse de la deuxième phalange du majeur déborde sa diaphyse.
<b>Stade DP3 u</b>	Union de l'épiphyse et de la diaphyse de la troisième phalange du majeur.
<b>Stade PP3 u</b>	Union de l'épiphyse et de la diaphyse de la première phalange du majeur.
<b>Stade MP3 u</b>	Union de l'épiphyse et de la diaphyse de la deuxième phalange du majeur.

\* : l'os sésamoïde du pouce est exceptionnellement absent.

**Fig. 36 a et b : Lecture du cliché radiographique selon l'analyse de Björk (d'après Loreille, 64).**

Toutes les articulations sont ainsi « évaluées » dans leur avancement vers la maturité, puis interprétées.

### 2.6.1.2.2.3.2. Interprétation des résultats

- Interprétation du poignet (cf. 2.6.1.2.1.3)
- Au niveau des doigts, le référentiel de comparaison utilisé est la **séquence chronologique de maturation** qui est pratiquement toujours la même et ne dépend pas du sexe de l'enfant (cf. fig. 37). On observe :

\* : l'os sémoïde du pouce est exceptionnellement absent.

1	Stade PP2 =	Accélération de la vitesse de croissance
2	Stade MP3 =	Le pic de vitesse de croissance est proche.
3	Stade S *	
4	Stade PP1 cap	Le pic est atteint.
5	Stade MP3 cap	Le maximum de vitesse est dépassé depuis un an.
6	Stade DP3 u	1 à 2 ans après le pic
7	Stade PP3 u	La fin de la croissance staturale est proche
8	Stade MP3 u	

Fig. 37: Séquence chronologique de maturation des os de la main selon Björk (d'après Loreille, 64).

Björk a ensuite relié chacun de ces huit stades à la courbe de vitesse de croissance staturale (cf. fig. 38) permettant ainsi de relier maturation de la main et croissance faciale.

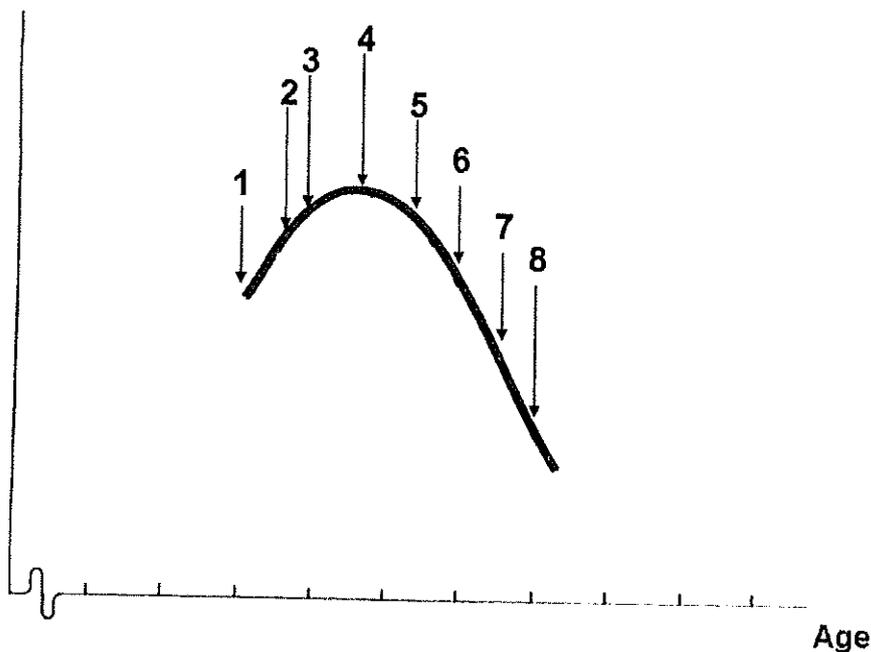


Fig. 38: Correspondance des 8 stades de maturation de la main avec la courbe de croissance staturale selon Björk (d'après Loreille, 64).

Si la séquence est indépendante du sexe, elle présente cependant un décalage dans le temps, les filles étant plus précocement matures que les garçons. Cette avance est en moyenne de deux ans selon Loreille (64, 65).

#### **2.6.1.2.2.3.3. Avantages**

- La lecture de la radiographie est simple et rapide.
- L'interprétation des résultats est rapide (seulement huit zones à évaluer au niveau de la main).
- Il s'agit ici de rechercher chez l'individu la présence d'indicateurs de maturation. La maturation osseuse est ici utilisée pour apprécier indirectement la quantité de croissance faciale. C'est déjà en soi une méthode de prévision de croissance.

#### **2.6.1.2.2.3.4. Inconvénients**

- Cette méthode repose sur les hypothèses de Björk (en particulier la coïncidence des pics de croissance staturale et faciale) remises en cause par certains auteurs (Bonfont et al, 15). D'autre part, Altounian (5) remarque que dans l'échantillon de Björk, 16 enfants voient leur sésamoïde apparaître au moment du pic, et un autre deux 5 ans avant le pic. Cet indicateur n'est donc pas exempt de variations.
- Il n'est pas fait de distinction entre les filles et les garçons.

#### **2.6.1.2.2.4. Méthode de Fishman**

En 1981, Fishman (31) présente une méthode d'évaluation de l'âge osseux à partir d'une radiographie de la main : le **SMA** (*Skeletal Maturation Assessment*). Elle se propose d'évaluer la maturation osseuse au niveau de 6 sites anatomiques de la main et retient 11 indicateurs appelés **SMI** (*Skeletal Maturation Indicators*) permettant d'identifier le niveau de maturation et la quantité de croissance acquise au moment du cliché radiographique.

##### **2.6.1.2.2.4.1. Lecture des clichés radiographiques**

La méthode de Fishman recherche 11 indicateurs de maturation dont l'apparition dans le temps forme une séquence exceptionnellement fiable selon l'auteur («seulement trois écarts sur plus de 2000 observations et ce sans affecter les résultats», 33).

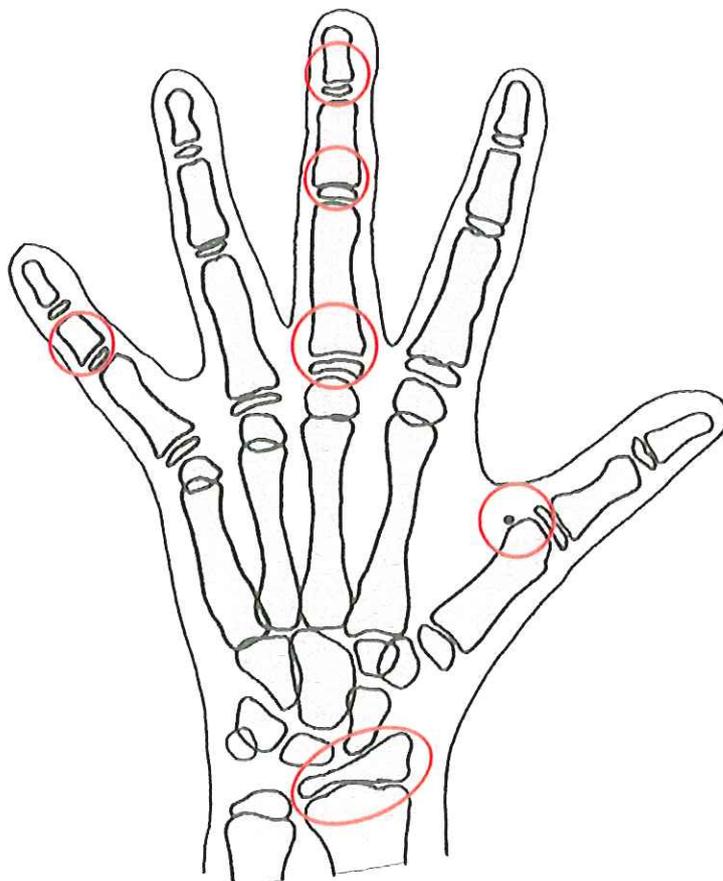
Ils sont détaillés dans la figure 39 avec la notation de Björk définie précédemment (égal / cap / union) et sont recherchés sur la radiographie selon la figure 40.

La séquence d'ossification comprend 4 étapes :

- L'élargissement des épiphyses : le centre d'ossification de l'épiphyse devient véritablement un indicateur du système d'évaluation lorsqu'il se développe latéralement sur la largeur de la diaphyse.
- Ossification du sésamoïde : c'est la date de première observation qui est définie comme indicateur.
- Recouvrement : c'est aussi la date de première observation qui compte.
- Fusion : la date de fin de fusion est l'indicateur recherché.

Séquence		Sites
Epiphyse aussi large que la diaphyse	1	PP3 =
	2	MP3 =
	3	PP5 =
Ossification du sésamoïde	4	S
Recouvrement de la diaphyse par l'épiphyse	5	DP3 cap
	6	MP3 cap
	7	MP5 cap
Fusion épiphysio-diaphysaire	8	DP3 u
	9	PP3 u
	10	MP3 u
	11	Radius

**Fig. 39 : Les 11 indicateurs de maturation (SMI) selon Fishman (31). Les numéros correspondent à l'ordre chronologique d'apparition des indicateurs.**



**Fig. 40 : Structures recherchées dans la méthode de Fishman (31).**

#### 2.6.1.2.2.4.2. Interprétation des résultats

L'interprétation peut se faire de manière immédiate (interprétation du cliché et appréciation du niveau actuel de maturation osseuse) mais aussi en vue d'un suivi régulier de la croissance.

Interprétation immédiate : comme dans la méthode de Björk, les indicateurs présents permettent de situer l'enfant sur une courbe de croissance (cf. fig. 41). Le pic pubertaire apparaît en moyenne chez la fille au stade 5 et chez le garçon au stade 6. La durée de chaque étape varie selon l'individu et son niveau de maturation (retard / avance) (32).

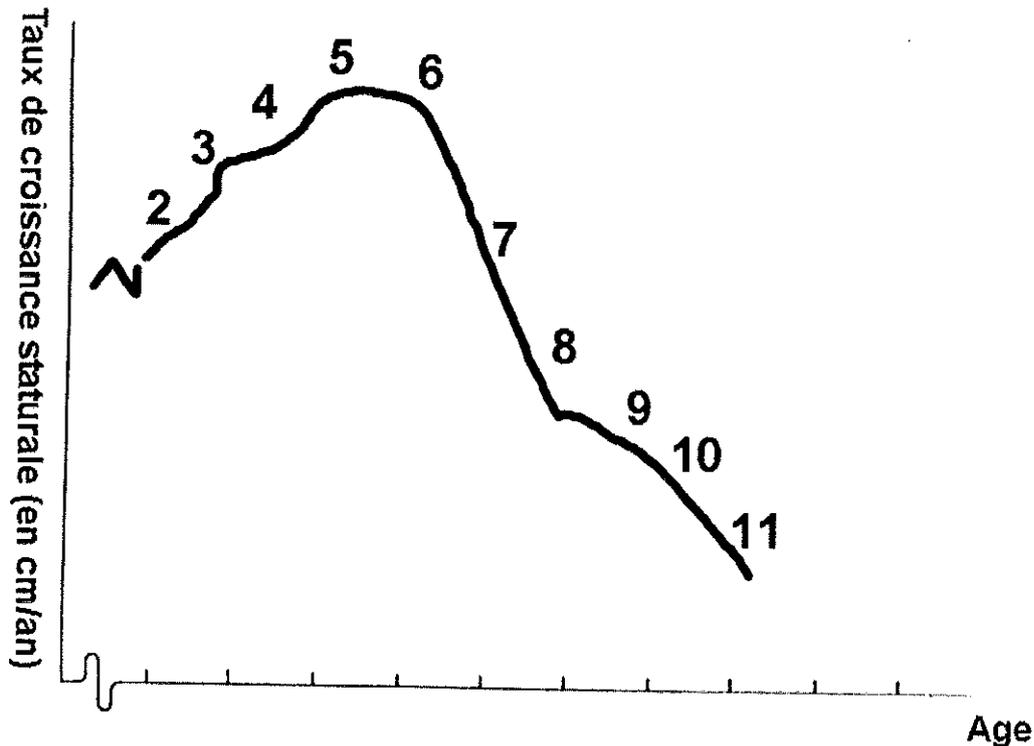


Fig. 41 : Relation entre les SMI et la courbe de croissance individuelle, selon Fishman (31).

Mais Fishman a surtout conçu sa méthode pour permettre une interprétation longitudinale de la maturation de l'enfant au fur et à mesure des examens radiographiques. Dans cet esprit, l'âge d'apparition de chaque indicateur de maturation est reporté sur une **charte de suivi individuel** du schéma de maturation présentant l'âge chronologique moyen d'apparition de chaque SMI ( $\pm 2DS$ ) en fonction de la population étudiée (cf. fig. 42).

L'enfant est comparé à la moyenne chronologique d'apparition des SMI dans le groupe étudié. Ce suivi permet d'évaluer :

- Si la vitesse de croissance et de maturation de l'enfant coïncide avec la vitesse de croissance moyenne de la population, ce qui permet de diagnostiquer une avance ou un retard de croissance.
- Si l'enfant a une vitesse de croissance constante, un enfant à croissance retardée pouvant voir sa croissance s'accélérer plus tard.

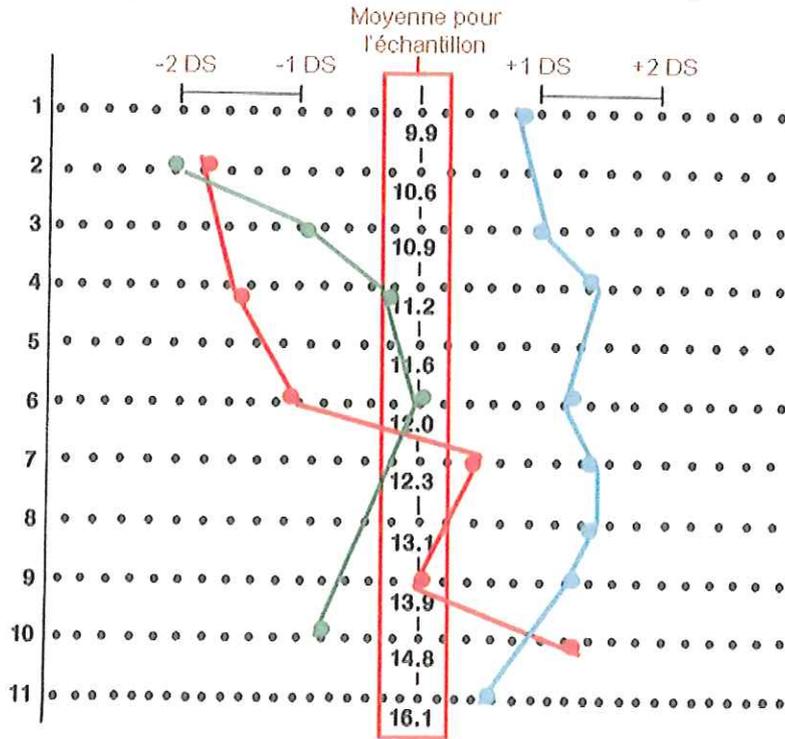
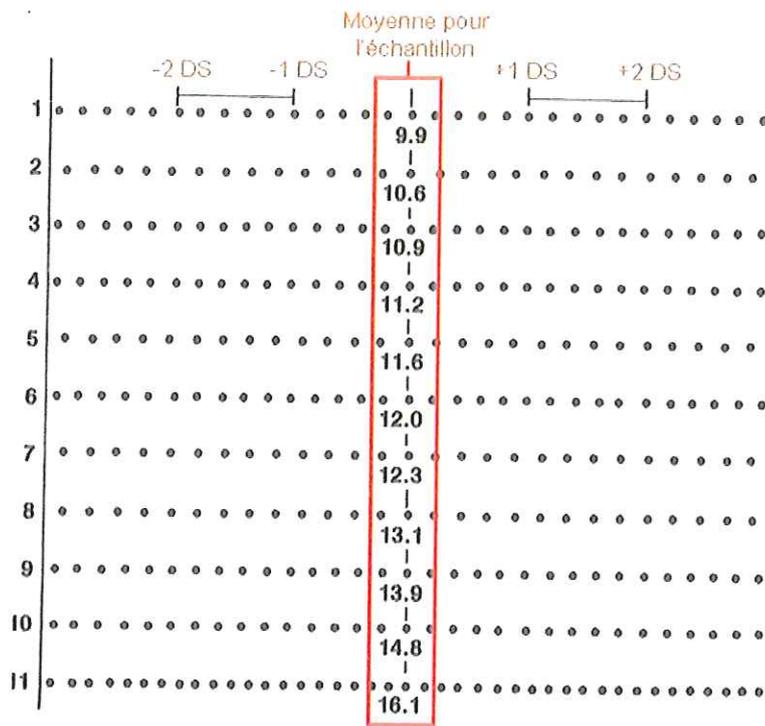


Fig. 42 a : Charte de suivi individuel de la maturation de l'enfant  
 Fig. 42 b : Schémas de maturation de trois filles issues d'un groupe de 550 filles d'après Fishman (31).

#### 2.6.1.2.2.4.3. **Avantages**

Cette méthode compatible avec une utilisation clinique quotidienne.

Elle montre qu'il existe très peu de variation entre fille et garçon dans les taux de croissance si on se base sur le niveau de maturation et non sur l'âge chronologique (Kopecky, 55).

#### 2.6.1.2.2.4.4. **Inconvénients**

Les âges moyens ont été obtenus par étude transversale. On sait donc que ces valeurs n'ont de signification statistique que pour le groupe considéré et ne peuvent être attribuées à un enfant extérieur à ce groupe.

Nécessite un contrôle radiographique régulier de la main.

#### 2.6.1.2.2.3. **Méthode des cotations**

La première méthode de cotation des os de la main connue est attribuée à Acheson (*in* Bonnefont et al, 15) en 1957 (« méthode d'Oxford ») où il est attribué une note à chaque os de la main et du poignet. Les méthodes les plus connues et utilisées à ce jour sont celle de Tanner & Whitehouse (94, 95) et celle de Sempé (86).

##### 2.6.1.2.2.3.1. **Méthode de cotation de Tanner & Whitehouse**

La méthode de Tanner & Whitehouse (94, 95) ou TW1 est née en 1962 à partir de l'étude d'un échantillon croisé de 3000 enfants anglais. Elle recherche des indicateurs de maturation pour 20 os de la main (méthode «**20-bones Skeletal Age** » ou «**20-bones S.A** »). Son objectif est d'approcher l'âge osseux d'un enfant par un système de pondération (un score est donné à chaque site anatomique recherché selon son degré de maturation). En 1975 apparaît un nouveau système de cotation de deuxième génération dénommé TW2 permettant de décomposer (95) :

- L'âge osseux de la main à partir de 13 os longs de la main (méthode « **Radius Ulna Short bones S.A** » = « **RUS S.A** »)
- L'âge osseux spécifiquement carpien (« **Carpal S.A** »)
- L'âge osseux global utilisé dans la première génération (« **20-bones S.A** » - TW2)

Les deux premiers systèmes de notation forment aujourd'hui la méthode TW3 (2001) dont les échantillons de référence pour la méthode « RUS S.A » ont été recomposés et comportent des enfants de multiples nationalités ( Royaume-Uni, Belgique, Italie, Espagne, Argentine, Texas, Japon ) modifiant les tables de référence utilisées jusqu'ici. En revanche, la méthode « Carpal S.A » conserve l'échantillon de référence britannique initial.

Cette distinction entre âge carpien et âge de la main répond à la nécessité de différencier :

- la petite enfance pendant laquelle les évènements d'ossification se concentrent au niveau du carpe
- de la grande enfance où ils se concentrent au niveau des métacarpes et phalanges (Leite & O'reilly, 59). En conséquence, la lecture des clichés sera adaptée à l'âge de l'enfant.

La nouveauté réside dans le fait que le score de maturation est pondéré : c'est-à-dire que certains os (ulna et radius en particulier) sont considérés comme plus significatifs de par l'hypothèse qu'ils sont plus étroitement corrélés que les phalanges avec la quantité de temps disponible pour la croissance à venir (Cox, 23). Ainsi le carpe représente 50% de la note, le radius et le cubitus 20% et le reste des épiphyses 30%.

La précision est de l'ordre de  $\pm 6$  mois avec un coefficient de sécurité de 95%.

### **2.6.1.2.2.3.1.1. Lecture des clichés radiographiques**

**Petite enfance** : Systeme Carpal S.A :

Seul le carpe est considéré à l'exclusion du pisiforme qui n'est pas pris en compte.

**Grande enfance** : Systeme RUS S.A : (13 os)

Il consiste à rechercher le niveau de maturation atteint au niveau :

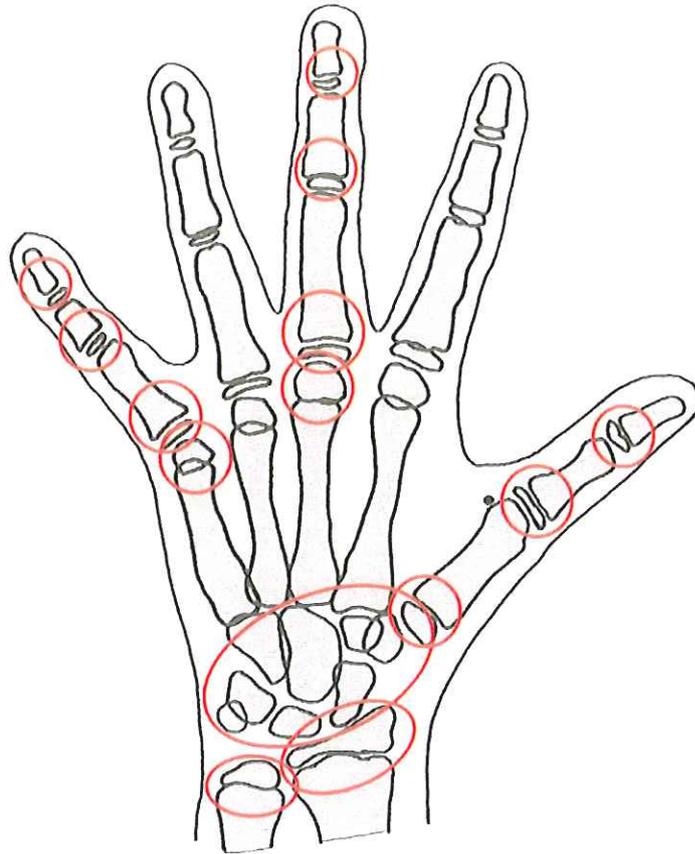
- Du radius
- Du cubitus
- Des métacarpes et phalanges des doigts I, III, et V.

Le carpe est exclu.

Systeme 20-bones S.A : (20 os)

Le cliché est lu dans l'ordre suivant :

- Radius et Cubitus
- Métacarpiens (dans l'ordre : 1°, 3° et 5°).
- Premières phalanges (même ordre)
- Deuxièmes phalanges (même ordre)
- Troisièmes phalanges (3° et 5°).
- Puis le Carpe dans l'ordre décrit par Greulich et Pyle (pisiforme exclu).



*Fig. 43 : Structures recherchées d'après Tanner & Whitehouse (95).*

Chaque stade de développement est ensuite identifié par une lettre :

- de A à I pour le radius, les métacarpiens, les phalanges, le trapèze et le semi-lunaire
- de A à H pour le cubitus et le reste du carpe.

Pour faciliter la cotation de chacun des stades de maturation, une étude radiographique est fournie en dernière partie de l'ouvrage. Elle définit de 1 à 3 critères radiographiques notés (i), (ii), et (iii) qui aident à l'attribution d'un stade :

- Lorsqu'un seul critère est proposé, l'étape est considérée atteinte dès que l'os correspond à ce critère.
- Lorsque deux critères sont définis, il suffit que l'os satisfasse à l'un des deux pour que l'étape soit considérée comme atteinte.
- Lorsque trois critères sont proposés, l'os doit satisfaire aux critères de deux d'entre eux pour que l'étape soit considérée atteinte.

### 2.6.1.2.2.3.1.2. Interprétation des résultats

1. La lettre est convertie en chiffre grâce au **tableau de conversion** disponible pour chaque système (exemple fig. 44).

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
<i>Radius</i>		0	23	30	44	56	78	114	160	218
<i>Ulna</i>		0	30	33	37	45	74	118	173	
<i>Métacarpes</i>	I	0	8	12	18	24	31	43	53	67
	III	0	5	8	12	16	23	37	47	53
	V	0	6	9	12	17	23	35	48	52
<i>1° Phalanges</i>	I	0	9	11	14	20	31	44	56	67
	III	0	5	7	12	19	27	37	44	54
	V	0	6	7	12	18	26	35	42	51
<i>2° Phalanges</i>	III	0	6	8	12	18	27	36	45	52
	V	0	7	8	12	18	28	35	43	49
<i>3° Phalanges</i>	I	0	7	9	15	22	33	48	51	68
	III	0	7	8	11	15	22	33	37	49
	V	0	7	8	11	15	22	32	36	47

**Fig. 44 : Tableau de conversion des 13 sites du système RUS en fonction de leur stade de développement d'après Tanner & Whitehouse (95).**

2. L'addition de ces scores individuels fournit les 3 **scores globaux de maturation** (CARPAL, RUS et 20-bones) qui s'échelonnent de 0 (absence de maturation) à 1000 (maturation complète).
3. Ce score est enfin divisé par 10 et le résultat est reporté sur les courbes de chaque système présentant en fonction de l'âge osseux (abscisses) le score correspondant (ordonnées) pour donner l'**âge osseux estimé**.

#### **2.6.1.2.2.3.1.3. Avantages**

Le score de maturation permet d'utiliser les données en analyse statistique.

La précision de la méthode en a fait une référence dans le monde scientifique. Elle devient la méthode contre laquelle sont testées toutes les autres nouvelles méthodes.

#### **2.6.1.2.2.3.1.4. Inconvénients**

La longueur du processus d'analyse en fait une méthode inadaptée à une pratique clinique quotidienne et réservée exclusivement à l'expérimentation scientifique.

#### **2.6.1.2.2.3.2. Méthode de cotation de Sempé**

Elle naît en 1971 (87) par la révision de la méthode d'Acheson. Son principe est identique à la méthode de Tanner & Whitehouse (95) et reste très usitée en France.

Comme il n'existe pas d'uniformité chronologique dans le processus de maturation, Sempé propose lui aussi un système de pondération rappelant qu'une pondération temporelle est illogique car une année osseuse n'a de sens que si elle apporte la même quantité d'os, ce qui n'est pas le cas. (cf. 1.2.3).

La pondération est presque identique à celle de Tanner : note de 0 à 999 ; le carpe représentant 500 points maximum, le radius et le cubitus 149 points, le pouce et le sésamoïde 150 points, et les épiphyses des III<sup>e</sup> et V<sup>e</sup> doigts 200 points.

#### **2.6.1.2.2.3.2.1. Lecture des clichés radiographiques**

On étudiera successivement : (fig. 45)

- Les os du carpe dans l'ordre inverse des aiguilles d'une montre
- Le radius et le cubitus
- Le pouce dans son ensemble
- Les métacarpes puis les phalanges des III<sup>e</sup> et V<sup>e</sup> doigts.

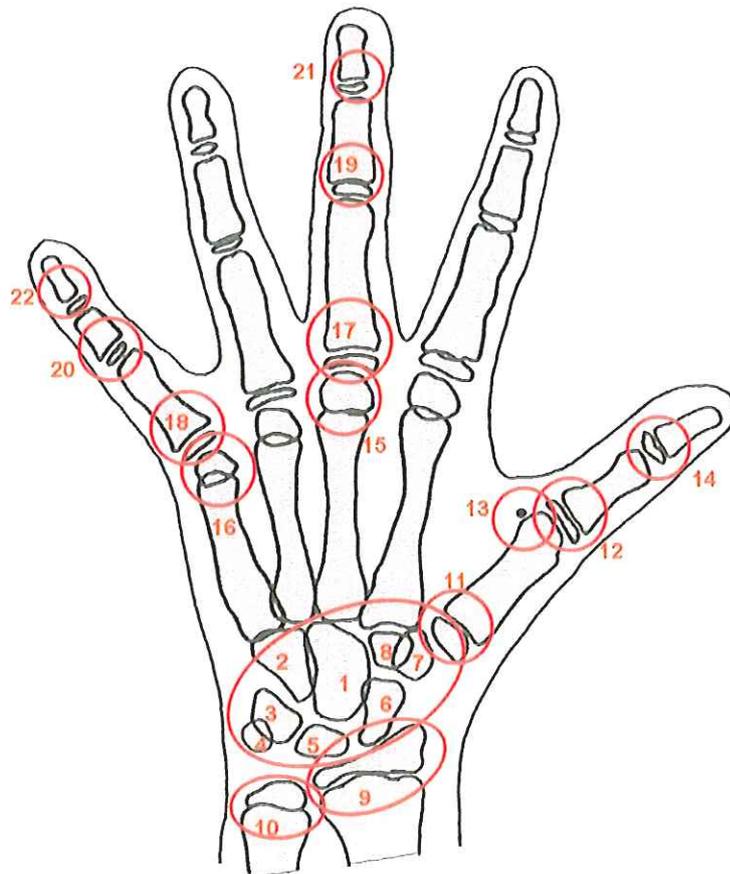
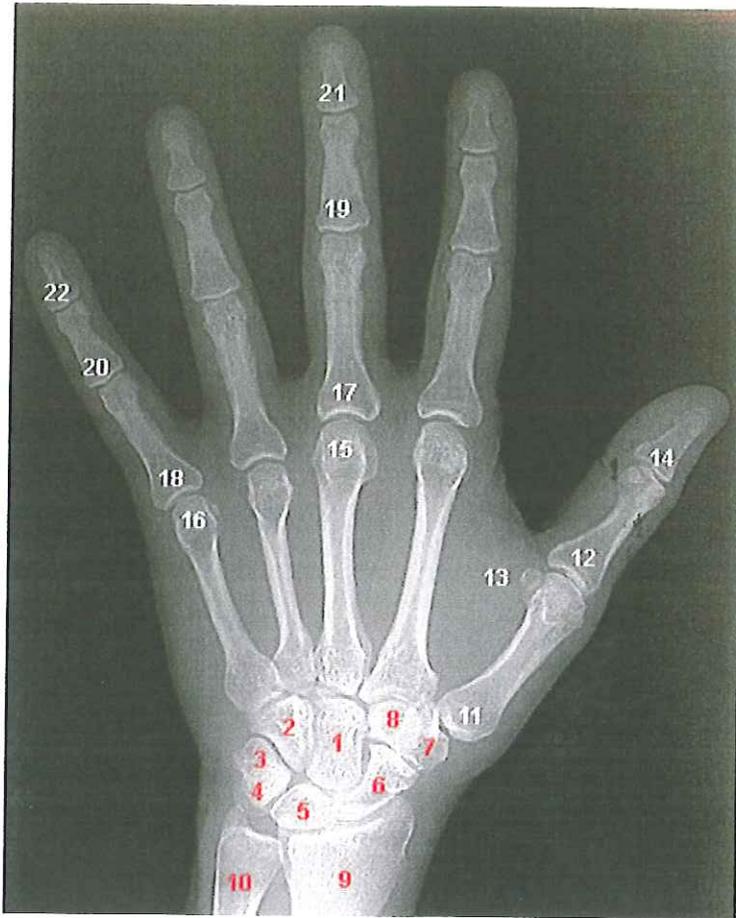


Fig. 45 a et b : Les 22 indicateurs de maturation avec leur ordre de lecture d'après Sempé (87).

A chaque indicateur est attribuée une lettre représentant le niveau de maturation atteint. En revanche, cette méthode dénombre 18 stades de maturation (cf. fig. 46).

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Grand Os	Os Crochu	Pyramidal	Pisiforme	Semi-lunaire	Scaphoïde	Trapèze	Trapezoïde	Radius	Cubitus	I		Sésamoïde	I	III et V			
											Métacarpe	P1	Sésamoïde	P2	Métacarpe	P1	P2	P3
O	00										00			00				
Ø	01										01			01				
Q	02	03	05	02	05	10	10	10	03	10	02		02	02				02
P	03	05	10	05	10	15	15	15	05	15	03		03	03				03
N	05	10	15	10	15	20	20	20	10	20	05		05	05				05
V	07	12	17		17	21	21	21	15	22	07			06				06
M	10	15	20		20	22	22	22	20	25	10			10				07
W	12	17	22		22	23	23	23	30	27	15			15				08
L	15	20	25		25	25	25	25	40	30	20			20				10
U	17	22	27		27	27	27	27	50	32	25			25				12
K	20	25	30		30	30	30	30	60	35	30			30				15
X	25	30	40		40	40	35	35	70	37	35	32		35				17
R	30	40	50		50	50	40	40	80	40	40	35		40				20
Y	40	45	55		55	55	45	45	85	42	42	37		42				21
S	50	55	60		60	60	55	55	90	45	45	40		45				22
J	60	60	65		65	65	60	60	95	47	47	42		47				23
T	70	70	70		70	70	70	70	97	50	50	45		50				25
Z	99										99			99				

Fig. 46 : Tableau de conversion des 22 sites anatomiques en fonction de leurs 18 stades de développement d'après Sempé (87).

#### **2.6.1.2.2.3.2.2. Interprétation des résultats**

La méthodologie est identique à celle de Tanner et al (95):

- Chaque lettre est convertie en valeur numérique grâce à un **tableau de conversion** (fig. 46).
- Puis la somme de ces scores individuels définit un **score global de maturation**.
- Le score est reporté sur une courbe pour donner **l'âge osseux**.

#### **2.6.1.2.2.3.2.3. Avantages et inconvénients**

Ce sont les mêmes que la méthode de Tanner & Whitehouse (95) avec l'avantage supplémentaire de présenter un échantillon de référence français.

#### **2.6.1.2.2.3.3. Comparaison des méthodes de cotation**

Il n'existe aucune étude scientifique comparant ces deux méthodes os par os. Cependant, plusieurs observations sont possibles :

##### **2.6.1.2.2.3.3.1. Dans la méthodologie**

Les auteurs ont retenu les mêmes indicateurs de maturation, avec des proportions comparables dans la pondération du carpe, du radius et du cubitus, et des phalanges.

Le score global est identique : de 0 à 1000.

Les stades de maturation sont plus nombreux dans la méthode de Sempé.

Il n'existe qu'un système de cotation pour Sempé (87) alors que Tanner et al (95) proposent trois systèmes de cotation : l'un pour le poignet, l'autre pour les os longs et le troisième étant la synthèse des deux premiers. Ceci permet au clinicien de choisir le système le plus adapté à l'enfant selon son âge.

La méthode de Tanner et al (95) s'avère donc plus systématisée mais également plus longue à mettre en œuvre. En effet, la seule lecture du cliché radiographique nécessite de vérifier la présence des critères radiographiques (i) (ii) et (iii) pour chaque stade de développement.

##### **2.6.1.2.2.3.3.2. Dans les résultats**

Ces deux méthodes aboutissent à un objectif identique : un score global de maturation de 1000. En revanche le chemin utilisé pour y parvenir est différent.

Le tableau de la figure 47 présente le score de maturation acquis selon l'âge et le sexe pour chaque méthode, ainsi que la quantité de maturation acquise par année osseuse. Les données sont analysées à la figure 48.

Age	SEMPE				TW 2			
	FILLES		GARCONS		FILLES		GARCONS	
	Pourcentage de maturation acquise		Pourcentage de maturation acquise		Pourcentage de maturation acquise		Pourcentage de maturation acquise	
	Depuis la naissance	En une année osseuse	Depuis la naissance	En une année osseuse	Depuis la naissance	En une année osseuse	Depuis la naissance	En une année osseuse
0	18		12		131		114	
1	55	37	36	24	192	61	146	32
2	96	41	68	32	260	68	190	44
3	134	38	100	32	324	64	242	52
4	188	54	132	32	389	65	298	56
5	249	61	178	46	450	61	355	57
6	288	39	235	57	510	60	415	60
7	334	46	287	52	571	61	477	62
8	386	52	323	36	653	82	540	63
9	439	53	363	40	752	99	608	68
10	542	103	403	40	845	93	678	70
11	729	187	469	66	908	63	747	69
12	829	100	622	153	953	45	817	70
13	913	84	771	149	981	28	879	62
14	975	62	889	118	995	14	931	52
15	991	16	955	66	1000	5	970	39
16	997	6	987	32			992	22
17	999	2	996	9			1000	8
18			999	3				

Fig. 47 : Comparaison des scores de maturation acquise selon l'âge, le sexe, et la méthode employée. Les zones hachurées représentent les années où la maturation est la plus rapide (assimilée au pic de croissance).

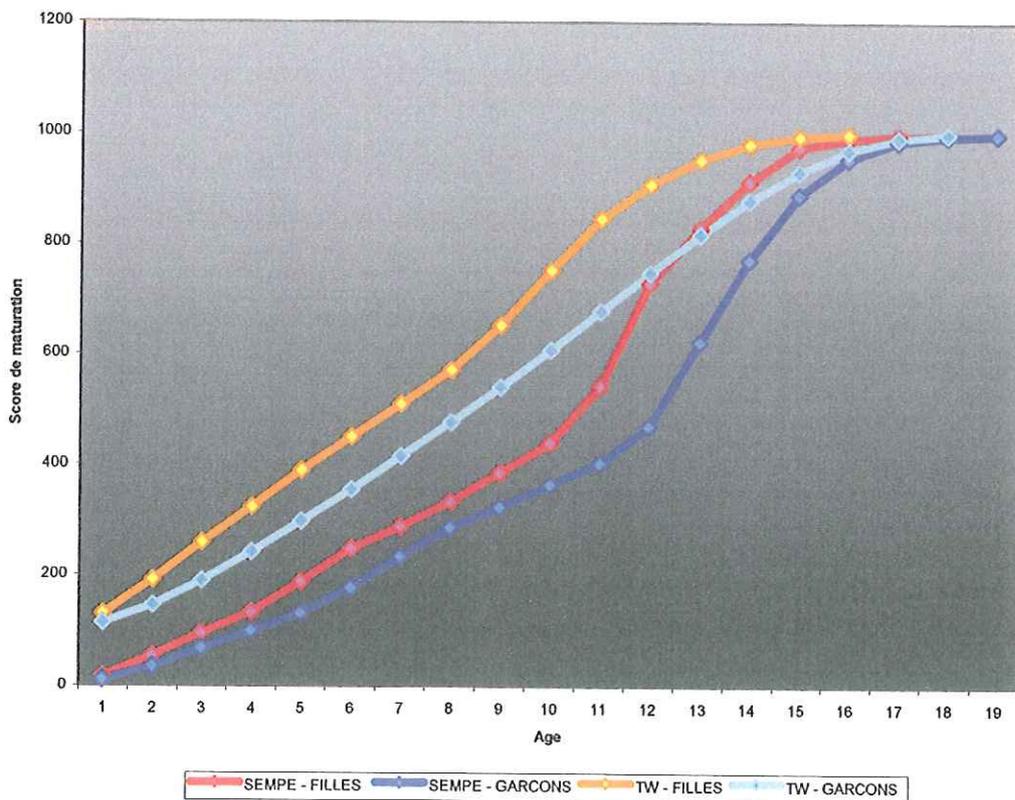
	SEMPE		TW2	
	Filles	Garçons	Filles	Garçons
25% de maturation	6-0	7-4	2-10	4-2
50% de maturation	10-9	12-3	6-9	8-5
Quantité de maturation effective au début de la puberté	439 points soit 44%	469 points soit 47%	571 points soit 57%	540 points soit 54%
Quantité de maturation effective au sommet du pic pubertaire	729 points soit 73%	771 points soit 77%	752 points soit 75%	817 points soit 82%

Fig. 48 : Etude comparative du tableau de la figure 47. (7-4 signifie 7 ans et 4 mois).

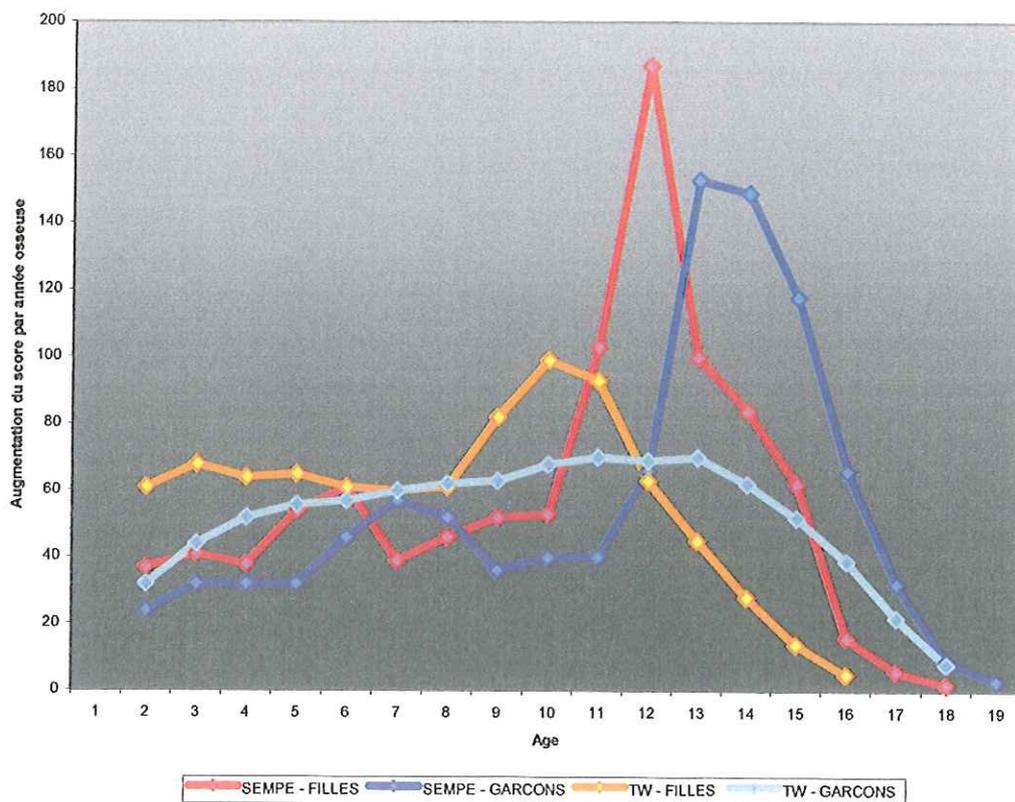
Il en ressort que la maturation effective au moment de la puberté est appréciée de manière à peu près équivalente dans les deux méthodes (début à 45-55% et pic à 75%), l'écart disparaissant au voisinage du pic pubertaire, ce qui vient confirmer l'observation communément admise que les prévisions (quelles qu'elles soient) sont plus précises à l'approche du pic.

Si les deux méthodes quantifient la maturité atteinte de manière équivalente, il n'en est pas de même de la correspondance âge civil / maturation osseuse. L'écart observé est non négligeable (ex : 50% de maturation à 10 ans 9 mois pour Sempé et à 6 ans 9 mois pour Tanner & Whitehouse). En conséquence, à âge civil égal, un enfant se verra attribuer par la méthode de Tanner & Whitehouse un score de maturité très supérieur à ce qu'il serait par la méthode de Sempé (ex : une fille de 10ans à un score de 542 pour Sempé contre 845 pour Tanner & Whitehouse). La méthode française semble donc plus adaptée à l'étude d'un enfant pendant sa puberté.

Enfin, concernant la cinétique de maturation (cf. fig. 49 et 50) les gains sont de 5 à 6% jusqu'à l'âge de 8-9 ans quelque soit le sexe et la méthode. En revanche, la cinétique est différente pendant la phase pubertaire avec un pic très marqué pour Sempé et un pic faible pour Tanner & Whitehouse. Cette différence graphique illustre d'ailleurs les deux conceptions de la communauté scientifique à l'égard du pic pubertaire (rôle majeur / rôle mineur). La façon dont un phénomène biologique est observé est donc primordiale pour ne pas aboutir à des erreurs d'interprétation.



**Fig. 49 : Représentation graphique des scores de maturation obtenus depuis la naissance d'après les résultats du tableau de la fig. 47.**



**Fig. 50 :** Représentation graphique des gains de maturation obtenus par année osseuse d'après les résultats du tableau de la figure 47.

On peut donc conclure :

- que la méthode TW2 témoigne d'une avance de maturation de l'ordre de 3 à 4 ans par rapport à celle de Sempé (87). Cette dernière étant plus adaptée à l'étude d'enfants pré-pubères.
- Que la cinétique globale de maturation diffère entre les deux méthodes, modifiant l'impact du pic pubertaire comme en témoignent les courbes de la figure 48.

#### **2.6.1.2.2.3.4. Méthodes focalisées sur un os ou une articulation**

Historiquement, ces méthodes sont nées des premières observations des indicateurs de maturation dont la concordance de certains avec le pic de croissance pubertaire a suscité l'intérêt que l'on sait. Ainsi sont nées les premières méthodes historiques d'évaluation de la maturation osseuse. S'avérant imprécises, elles ont conduit les chercheurs à rechercher d'autres sites anatomiques complémentaires pour une évaluation la plus précise possible (carpe, main...) et selon les possibilités techniques du moment.

Il nous paraît intéressant de revenir sur ces méthodes dont certaines sont encore employées à l'occasion lorsque les conditions ne permettent pas de faire usage des moyens les plus perfectionnés.

#### 2.6.1.2.2.3.4.1. Sésamoïde du pouce

Flory en 1936 (*in* Bonnefont et al, 15), et depuis beaucoup d'auteurs (Moore, 73 ; Kopecky, 55 ; Bergersen, 11), estiment que le sésamoïde du pouce est un indicateur fortement relié au maximum de croissance pubertaire. Pour eux l'apparition radiographique du sésamoïde témoigne de la proximité du pic de croissance staturale. C'est le cas au Danemark (Björk et Helm, 14), en Australie (Bowden, 15), en Ecosse (Chapman, 19), et au Canada (Demirjian, 26). A ce titre Björk et Helm (14) ont établi une forte corrélation entre l'âge d'apparition du sésamoïde et l'âge des premières règles chez la fille. Lewis, Roche et Wagner (61, 62, 63) confirment une tendance générale à la décélération avant l'apparition du sésamoïde et à l'accélération de croissance une fois le sésamoïde apparu.

Outre sa signification biologique, le sésamoïde présente l'avantage :

- d'être constant. En effet d'après Chapman (19), il ne faut pas confondre les sésamoïdes des doigts qui sont décrits dans la littérature anatomique comme inconstants avec les sésamoïdes de l'articulation métacarpo-phalangienne du pouce dont l'absence est exceptionnelle. Cette étude ne s'intéresse qu'au sésamoïde ulnaire dont l'image radiologique est la plus interne et n'est pas superposée à l'image de l'articulation métacarpo-phalangienne du pouce.
- d'être facilement et rapidement identifiable (une radio au cône dentaire suffit).

L'observation radiographique du sésamoïde répond à six étapes distinctes dont 4 principales (fig. 51) :

Stade	Durée	Description
AS0		Pas d'ossification
AS1	3 mois	Première trace d'ossification, diamètre de 1 millimètre, en forme de « pomme de pin »
AS2	6 mois	Progression de l'ossification, contour indéfini
AS3	18 mois	Contour distinct. Taille 3mm × 2mm chez les filles et 5mm × 3mm chez les garçons
AS3+		Début de fusion épiphyso-diaphysaire de la première phalange du pouce.
E.F		Fusion épiphyso-diaphysaire achevée.

Fig. 51 : Stades de maturation du sésamoïde d'après Chapman (19).

Les courbes de la figure 52 confirment le lien entre les étapes de maturation du sésamoïde et les variations du taux de croissance staturale.

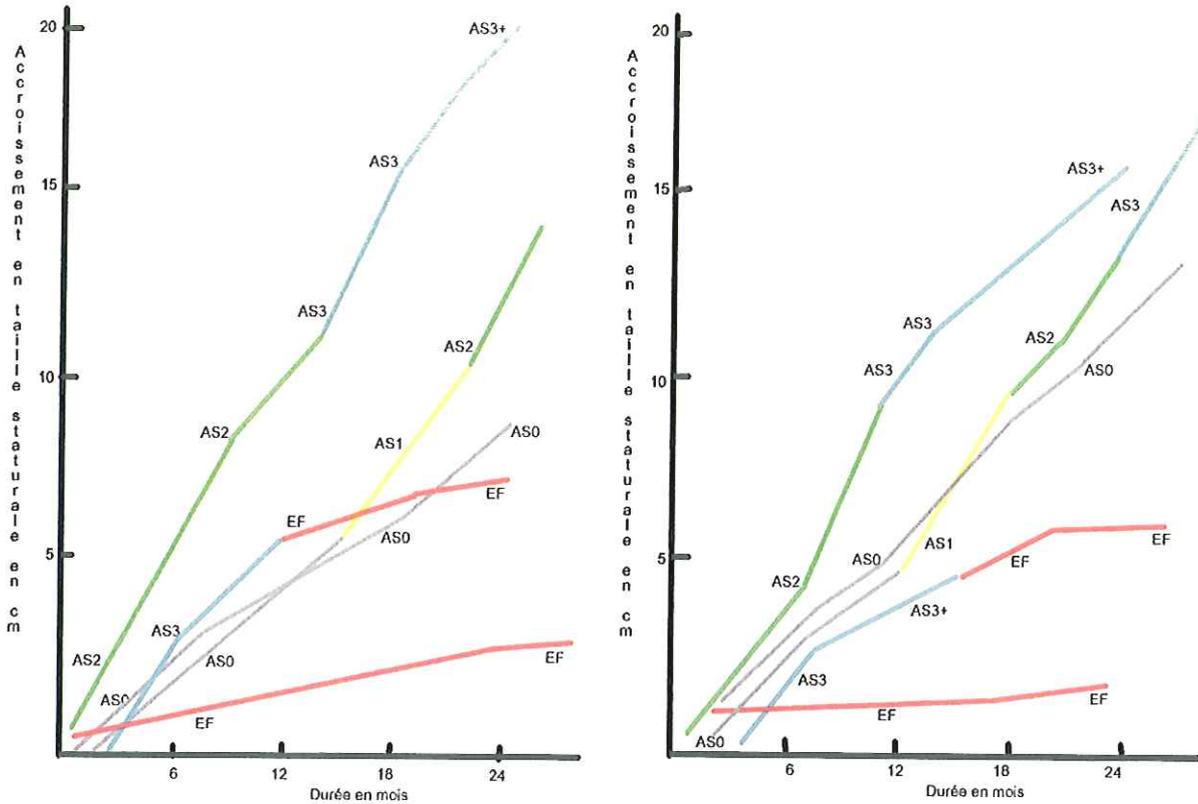


Fig. 52 : Courbes de croissance staturale chez 5 garçons (a) et 5 filles (b) observés pendant 30 mois, d'après Chapman (19).

Les pentes peuvent être décomposées par ordre chronologique :

- Ossification non commencée (AS0) (courbes grises)
- **Ossification en cours** (AS1-AS2-AS3) (courbes jaunes, vertes, bleues)
- Stade de fin de fusion (EF) (courbes rouges)

La pente de la courbe (vitesse de croissance) traduit visuellement la corrélation avec le stade de maturation du sésamoïde. En effet, plus la pente est élevée, plus la croissance est élevée.

La croissance est conséquente du stade AS0 au stade AS3. Sur une période donnée, la quantité de croissance totale d'un enfant (aire sous la courbe) sera d'autant plus élevée que l'enfant sera à un stade précoce de maturation de son sésamoïde.

En conclusion, l'étude du sésamoïde permet de faire une première évaluation rapide de la vitesse de croissance de l'enfant sachant que la vitesse de croissance est maximale pendant l'ossification du sésamoïde. En revanche son intérêt est limité :

- D'une part par le fait qu'il intervient trop tardivement dans le développement, interdisant de ce fait son utilisation pour planifier le plan de traitement.

- D'autre part les variations individuelles sont telles que l'apparition du sésamoïde ne permet pas une évaluation précise et fiable du niveau de maturation atteint (62, 63).

Cependant Björk et Helm recommandent l'enregistrement régulier de la taille staturale chez l'enfant tout au long du suivi orthodontique et préconisent la recherche du sésamoïde dans les cas où ces enregistrements longitudinaux ne sont pas disponibles (14).

#### 2.6.1.2.2.3.4.2. Articulation inter phalangienne proximale du médus (MP3)

Pour Hagg et Taranger (47), les étapes d'ossification de l'articulation inter phalangienne proximale du médus (MP3) sont corrélées au pic de croissance pubertaire, au même titre que le sésamoïde du pouce. Six niveaux de maturation sont décrits (cf. fig. 53) couvrant la période du pic pubertaire (Hagg et Pancherz, 46).

Stade	Moment d'apparition	Description
<b>MP3-E</b>		La largeur de l'épiphyse équivaut à 50-100% de la largeur de la diaphyse.
<b>MP3-F</b>	Début du pic	L'épiphyse est aussi large que la diaphyse. (correspond au stade <b>MP3=</b> de Björk)
<b>MP3-FG</b>	Accélération	L'épiphyse est aussi large que la diaphyse et le bord distal et les bords médial et latéral de l'épiphyse sont à angle droit.
<b>MP3-G</b>	Pic	L'épiphyse s'épaissit et recouvre la diaphyse par un bord fin sur une / deux face(s) (correspond au stade <b>MP3cap</b> de Björk)
<b>MP3-H</b>	Décélération	Début de fusion épiphyso-diaphysaire
<b>MP3-I</b>	Fin du pic de croissance	Fusion épiphyso-diaphysaire terminée

Fig. 53 : Stades de maturation de l'articulation MP3, d'après Abdelkader (2).

Le principe de cette méthode est identique à celle du sésamoïde :

- Rechercher un indicateur de maturation squelettique lié à la croissance staturale.
- Selon une méthodologie simple permettant :
  - Une facilité de mise en œuvre
  - Une interprétation aisée du cliché
  - Une économie de radiations

En outre, l'articulation MP3 n'est jamais absente, ce qui augmente la fiabilité de la méthode par rapport à celle du sésamoïde.

**2.6.1.2.2.3.4.3. Articulation inter phalangienne distale  
du pouce (DP1)**

Goto et al (38) ont étudié la possibilité d'évaluer la croissance mandibulaire résiduelle chez des individus présentant une occlusion de classe III d'Angle sans rapport avec un prognathisme vrai par l'observation de l'articulation inter phalangienne du pouce (DP1). Dans une étude récente ils ont établi une corrélation significative entre la fusion épiphyso-diaphysaire de DP1 et la fin de la croissance mandibulaire, surtout chez les filles. De cette manière l'étude de cette articulation permettrait de prévoir la quantité résiduelle de croissance mandibulaire et d'en adapter le traitement. Cette approche nécessite d'être confirmée par d'autres études.

**2.6.1.2.2.3.4.4. Méthode des trois doigts : pouce, index  
et majeur.**

Leite et O'Reilly (59) ont évalué la possibilité d'établir l'os sésamoïde associé aux articulations des trois premiers doigts de la main comme indicateur fiable du niveau de maturité osseuse.

Les évènements recherchés sont les suivants :

- Apparition du sésamoïde
- au niveau des trois premiers doigts :

Marqueur	Description
<b>S</b>	Absent ou première apparition
<b>E 3/4</b>	La largeur de l'épiphyse est au moins égale aux $\frac{3}{4}$ de la largeur de la diaphyse
<b>EQ</b>	L'épiphyse et la diaphyse sont aussi larges
<b>EC</b>	Le bord distal et les bords médial / latéral de l'épiphyse sont à angle droit
<b>FB</b>	Début de fusion épiphyso-diaphysaire
<b>FC</b>	Fusion épiphyso-diaphysaire terminée

*Fig. 54 : Evènements recherchés au niveau des articulations des trois premiers doigts d'après Leite et O'Reilly (59).*

Selon l'étude comparative qui a été faite avec la méthode de Greulich et Pyle, l'âge squelettique évalué en regardant les trois premiers doigts est en avance par rapport à l'âge squelettique évalué par l'étude du poignet, l'écart étant de 2,1 mois en moyenne avec un écart maximal de 2,89 mois chez le garçon et 4,45 mois chez la fille (59). Ces variations semblent acceptables en terme de précision (cf. fig. 55).

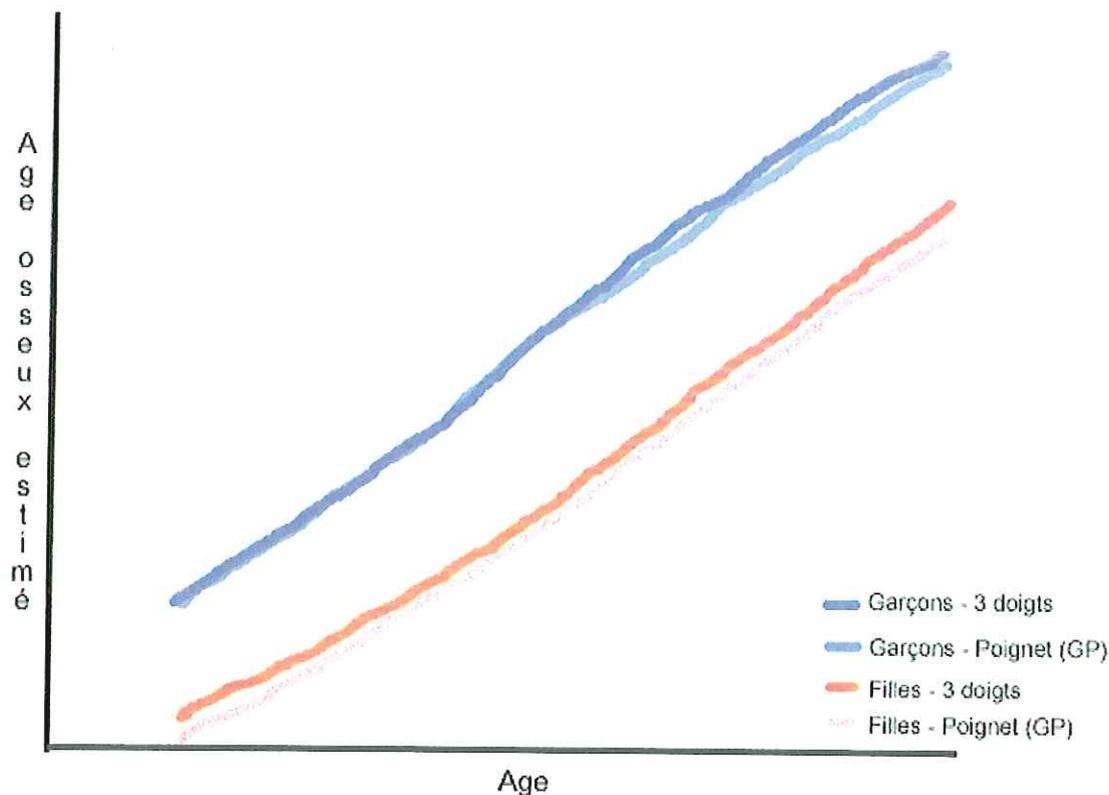


Fig. 55 : Comparaison des âges osseux estimés entre la méthode des trois doigts et la méthode de Greulich et Pyle, d'après Leite et O'Reilly (59).

C'est dans cette nouvelle démarche d'économie (de radiations et de matériel) que s'inscrit cette méthode puisqu'une seule radio est nécessaire.

Dans le même esprit citons Grave et Brown (*in* 42) qui ont proposé une technique permettant d'enregistrer la tête, le poignet et la main sur un seul cliché, mais sans diminuer la dose de radiations puisque deux expositions successives sont nécessaires.

#### 2.6.1.2.2.3.5. Conclusion

L'évaluation du sésamoïde ou de l'articulation MP3 à l'aide du cône dentaire conserve son intérêt comme méthode d'approche. Elle reste la méthode de choix dans les pays pauvres dépourvus de systèmes radiographiques sophistiqués.

La radio main-poignet a été choisie pour sa facilité de mise en oeuvre et la quantité d'articulations présentes sur un seul cliché. Sa valeur biologique est parfois discutée. Ainsi pour Cox (23), la recherche du potentiel de croissance linéaire est principalement déterminée par l'étude du dos et du membre inférieur, et non par l'étude de la main. Cependant, elle demeure encore aujourd'hui la radio la plus utilisée dans le monde pour évaluer la maturation osseuse de l'enfant.

En pratique clinique, les scores de maturation donnent une meilleure évaluation du potentiel de croissance que l'âge osseux, dont les standards ont 30 ans (TW2) ou 60 ans (GP). Mais leur complexité et le temps de traitement des informations les éloignent du champ clinique pour les réserver aux unités de recherche. Il n'existe pas de méthode qui rassemble toutes les qualités requises. Certaines sont préférées pour des raisons très variables (parfois historiques) qui n'ont parfois aucun rapport avec la rigueur scientifique.

### **2.6.1.2.3. Radio du genou**

Roche et al (*in 3*) ont comparé la méthode de Greulich et Pyle (43) à l'étude du genou d'après Pyle et Hoerr (*in 14*) et ont conclu qu'il n'existait aucune différence entre ces deux méthodes quel que soit le sexe.

Roche et al (*in 3*) ont proposé en 1975 une méthode d'évaluation de la maturation basée sur la radiographie du genou (méthode **RWT**). Dans une étude comparative récente, Aicardi (3) observe :

- Que l'âge osseux défini par la méthode RWT est toujours plus proche de l'âge chronologique que l'âge osseux fourni par le poignet.
- Que la maturation du genou est moins affectée par l'avance ou le retard de maturation ainsi que par la surcharge pondérale par rapport à celle du poignet.
- Enfin, aucune comparaison scientifique n'existe entre ces deux sites anatomiques car les deux méthodologies utilisées pour mettre en avant chacune de ces techniques n'ont aucun point commun.

### **2.6.1.2.4. Radio de la hanche**

Elle est également l'intérêt de pouvoir suivre la maturation du squelette. Cependant, comme la radio du genou, elle n'a jamais été préférée à l'étude de la main pour évaluer le potentiel de croissance de la face.

### **2.6.1.2.5. Radio du coude**

Il s'agit d'une méthode de cotation de la maturation du coude définie par Sauvegrain, Nahum et Bronstein en 1962 (85). Les noyaux d'ossification du coude ont le double avantage :

- D'évoluer en peu de temps (4 à 5 ans).
- De présenter des aspects radiologiques successifs qui se distinguent les uns des autres et qui sont facilement schématisables.

En moyenne, cette méthode concerne les filles entre 9 et 13 ans, et les garçons entre 11 et 16 ans (Rohr, 81). Elle intéresse donc l'enfant à l'âge orthodontique.

#### **2.6.1.2.5.1. Rappel anatomique**

Le coude est constitué par l'articulation de l'extrémité inférieure de l'humérus avec les extrémités supérieures du radius et du cubitus (fig. 56).

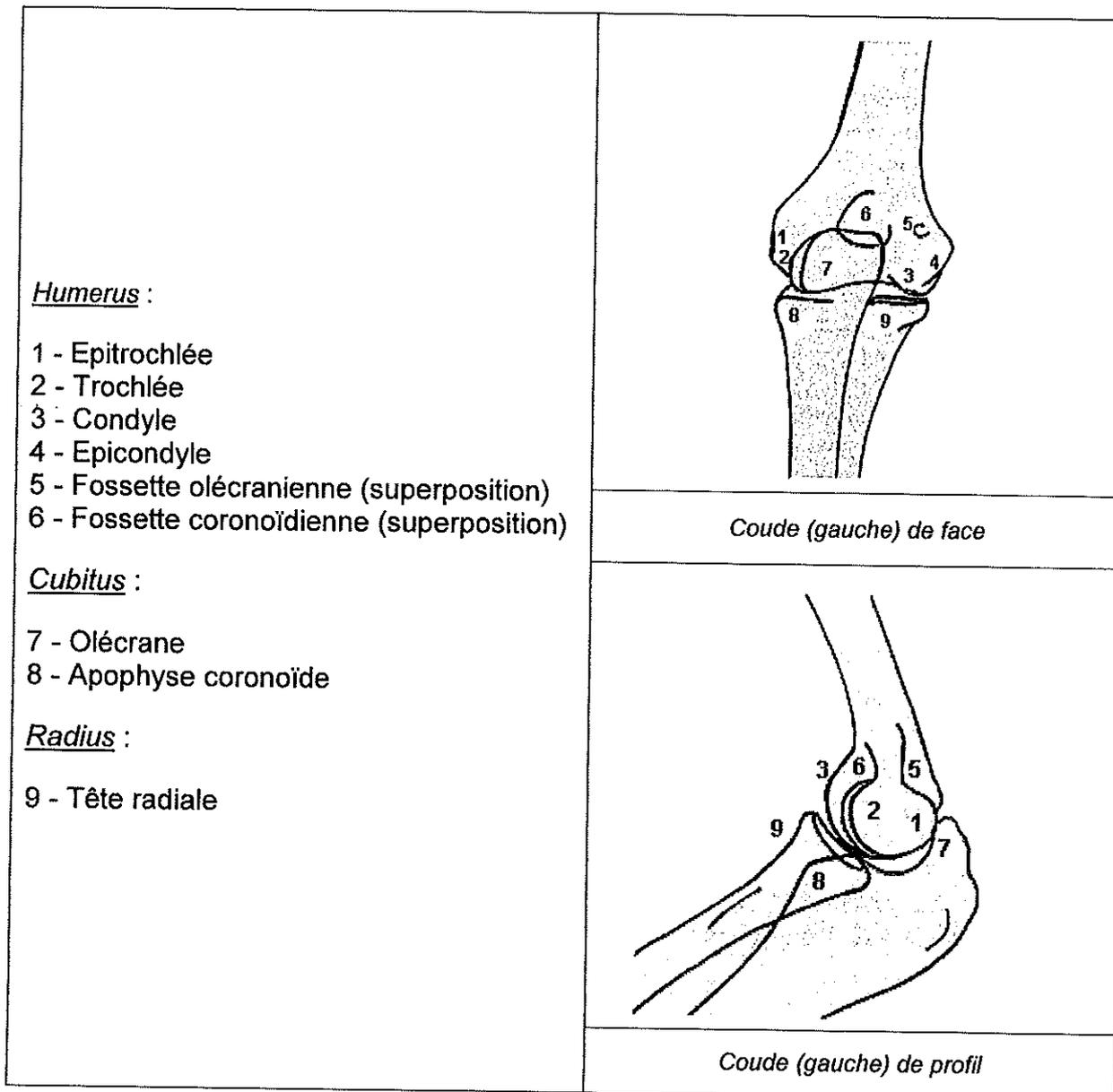
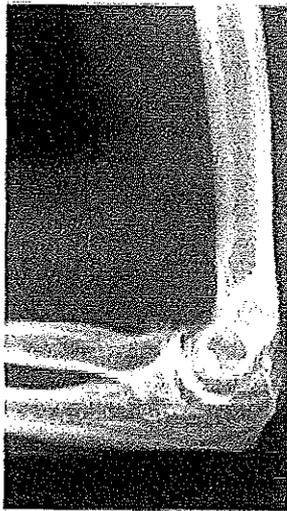


Fig. 56 : Anatomie du coude d'après Punter (79).

#### 2.6.1.2.5.2. Technique de prise des clichés radiographiques

Cette étude nécessite deux clichés radiographiques du coude : face et profil ( le côté gauche n'est pas imposé puisque les recommandations de la convention de Monaco (1906) ne concernent que la main ).

<i>Incidence de face</i>	<i>Incidence de profil</i>
<p>Distance foyer-film = 1m.</p> <p>Cassette 18 x 24.</p> <p>Petit foyer, 50-55kV.</p> <p>Centrage sur le milieu du pli du coude.</p> <p>Le coude est posé sur la cassette perpendiculairement au faisceau de rayons X, et l'avant-bras en supination repose sur le plan de la table. La paume de la main est orientée vers le ciel.</p>	<p>Distance foyer-film = 1m.</p> <p>Cassette 18 x 24.</p> <p>Petit foyer, 50-55kV.</p> <p>Centrage sur le milieu du pli du coude.</p> <p>Le sujet est en position assise. Le membre supérieur est à plat sur la table. Le bras et l'avant-bras forment un angle de 90°. La main est en légère flexion et en appui cubital, pouce dirigé vers le ciel.</p>
	

*Fig. 57 : Cliché radiographique du coude d'après Punter (79).*

### 2.6.1.2.5.3. Lecture des clichés radiographiques

On recherche sur ces clichés la morphologie : (cf. fig. 56)

- Du condyle et de l'épicondyle
- De la trochlée
- De l'olécrâne
- De la tête radiale

L'articulation huméro-radiale et ses composantes sont étudiées sur le cliché de face.

L'articulation huméro-cubitale et ses composantes sont étudiées sur le cliché de profil.

### 2.6.1.2.5.4. Interprétation des résultats

Chacune de ces quatre structures est cotée selon le tableau de référence établi par les auteurs (fig. 58).

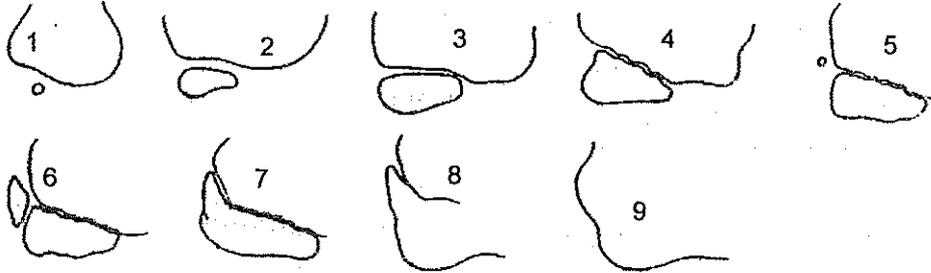
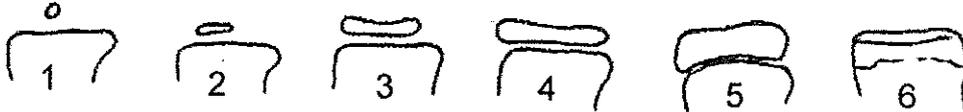
<b>Condyle et Epicondyle</b>	
<b>Trochlée</b>	
<b>Olécrâne</b>	
<b>Tête radiale</b>	

Fig. 58 : Cotation du niveau de maturation osseuse du coude d'après Sauvegrain, Nahum, Bronstein (85).

Puis ces coefficients sont additionnés pour donner une cotation globale qui va définir l'âge osseux de l'enfant en se reportant à la courbe de la figure 59.

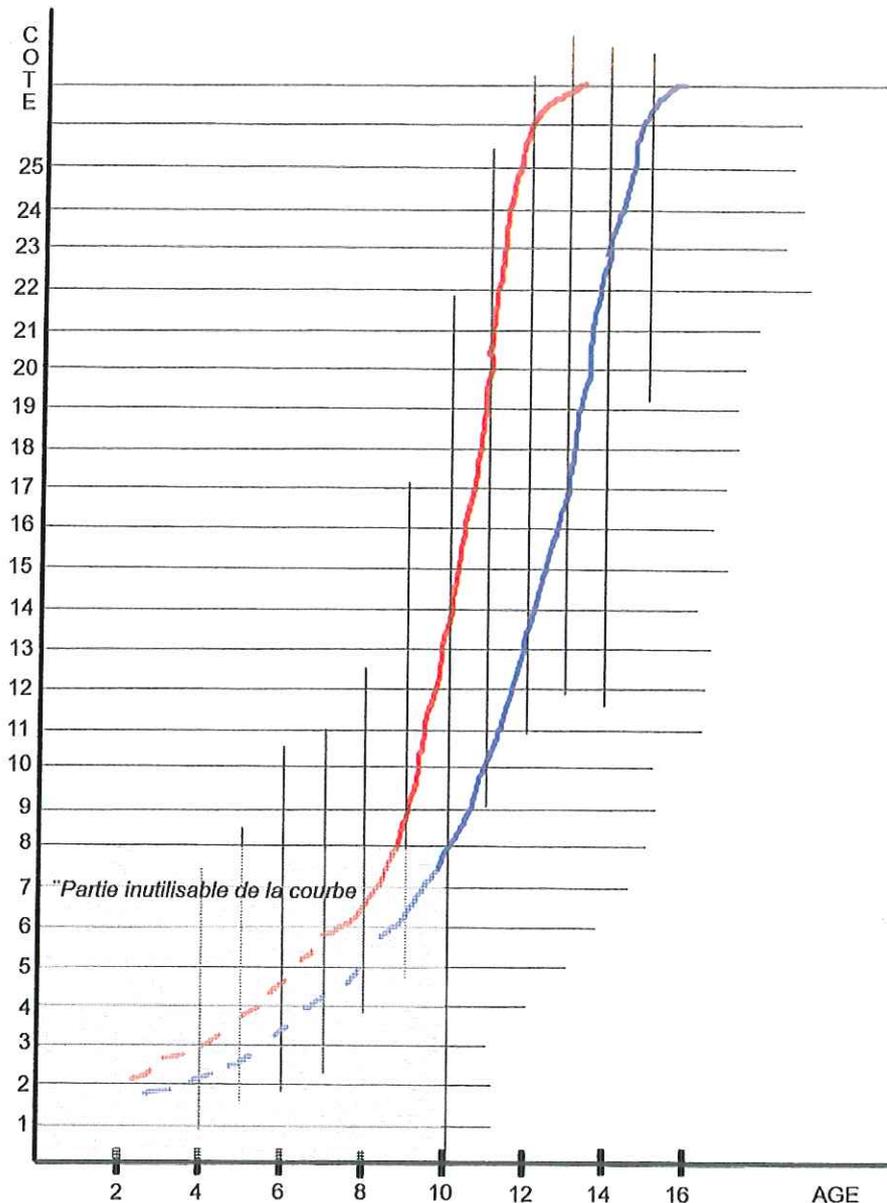


Fig. 59 : Détermination de l'âge osseux de l'enfant d'après Sauvegrain, Nahum, Bronstein (85).

#### 2.6.1.2.5.5. Avantages

Cette méthode n'est pas utilisée aujourd'hui en première intention mais elle conserve son intérêt dans l'évaluation de la maturation d'un enfant chez qui on suspecte un retard majeur de croissance. En effet, les évaluations classiques permettent de diagnostiquer un retard, mais une exploration complémentaire au niveau d'autres sites anatomiques doit être entreprise afin de confirmer ce diagnostic et de quantifier ce retard avec précision. L'analyse du coude de Sauvegrain et al est alors appréciable.

La lecture des clichés est simple et rapide.

L'attribution des cotations génère peu d'erreurs du fait que les morphologies des stades de maturation se distinguent bien les unes des autres. L'interprétation est donc fiable.

Pour le Pr. Lelong (*in* 27), la radio du coude est intéressante entre 7 et 9 ans, lorsqu'il est difficile de distinguer les modifications radio-anatomiques du poignet.

#### 2.6.1.2.5.6. Inconvénients

Cette méthode est irradiante : elle nécessite deux clichés.

Elle ne concerne l'enfant que pendant 5 années de sa vie et ne permet pas de suivre l'enfant de manière longitudinale tout au long de sa croissance.

#### 2.6.1.2.6. Radio des vertèbres

La radio de la main est considérée de manière consensuelle comme le meilleur support existant pour l'évaluation de la maturation de l'enfant avec l'avantage de présenter un rapport étroit avec le pic pubertaire (19, 39, 41, 42, 49).

La recherche d'une méthode permettant d'apprécier rapidement la maturation squelettique de l'enfant

- En détectant de manière efficace le pic de croissance mandibulaire
- Au moyen d'une technique simple et répétitive
- Sans être soumis à l'obligation de mesures répétées de taille staturale
- Sans radiations ni clichés supplémentaires

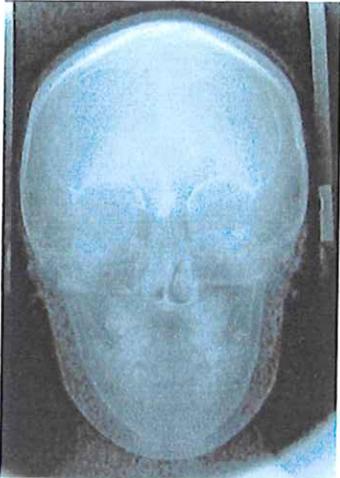
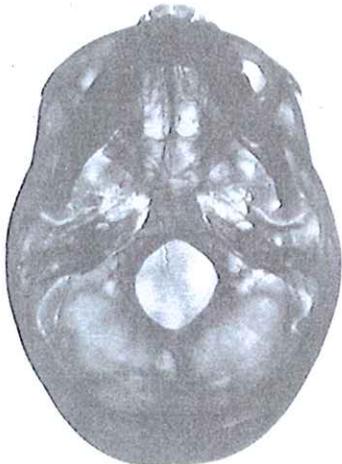
a conduit à s'intéresser au rachis cervical dont les changements maturationnels sont observables de la naissance à l'âge adulte.

Rappelons que le rachis cervical se compose de 7 vertèbres dont les deux premières ont une morphologie unique, les cinq autres ayant une morphologie similaire. La croissance vertébrale « primaire » se fait par l'intermédiaire des cartilages présents sur les faces supérieures et inférieures des corps vertébraux. Des noyaux d'ossification secondaires apparaissent pendant la puberté au niveau des processus épineux et transverses jusqu'à leur union qui signe la fin de la croissance. Une fois la croissance enchondrale achevée, la croissance se fait par apposition périostée, uniquement sur le devant et les côtés des vertèbres.

Les documents radiographiques servant de base au diagnostic céphalométrique en ODF sont utilisés depuis longtemps par l'orthodontiste pour analyser la morphologie du squelette facial et crânien d'une part, et la direction du schéma de croissance (superpositions) d'autre part. Le principe est ici le même : la morphologie des vertèbres cervicales traduit un niveau de maturation atteint. En classifiant les étapes de maturation que connaissent les vertèbres au cours de la croissance, on est à même d'en estimer soit un âge osseux, soit la distance au pic pubertaire.

### 2.6.1.2.6.1. Technique de prise des clichés radiographiques

Il s'agit ici de la technique de prise des clichés télé-radiographiques collectés en vue de l'analyse céphalométrique. Leur spécificité réside dans la volonté d'éloigner suffisamment la source de rayons X pour que la déformation de l'image soit négligeable.

<i>Incidence de face</i>	<i>Incidence de profil</i>	<i>Incidence axiale</i>
Distance foyer-film = 4m. Cassette 24 x 30. Gros foyer, 65kV. Tablier de plomb.		
Le sujet est assis, faisant face au tube. La tête est maintenue immobile grâce à un céphalostat (olives dans les conduits auditifs externes). Les arcades dentaires sont en occlusion.		
		

*Fig. 60 : Clichés télé radiographiques du crâne d'après Punter (79).*

Concernant l'évaluation de la maturation osseuse, seul le rachis cervical en vue latérale nous intéresse.

Son étude est apparue en 1972 par Lamparski. Puis elle a été modifiée en 1995 par Hassel et Farman (48) et récemment en 2002 par Baccetti et Franchi (7, 8) et San Roman (83).

D'une manière générale, l'étude est basée sur les changements morphologiques dimensionnels observés au niveau des corps vertébraux (9) et les **caractères généraux** à rechercher sont les suivants :

- Forme globale du corps vertébral (trapèze / rectangle horizontal / carré / rectangle vertical).
- Morphologie du bord inférieur du corps (plat / concave) qui se creuse de plus en plus.

Les différentes techniques proposées permettent aux auteurs :

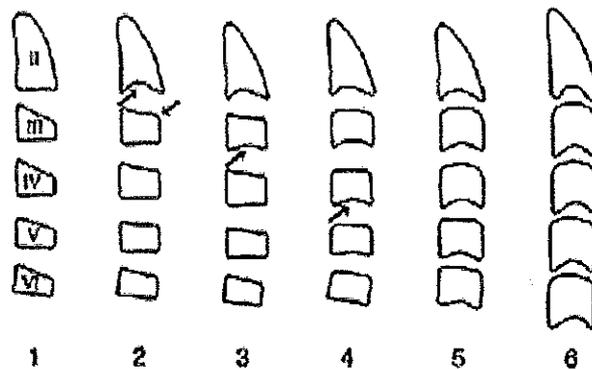
- Une lecture différente des clichés radiographiques en redéfinissant les niveaux de maturation à identifier pour plus de précision.
- Une interprétation différente de ces niveaux selon la méthodologie employée par chacun.

Nous allons passer en revue ces techniques, avant d'aborder leurs avantages et inconvénients.

### 2.6.1.2.6.2. Méthode de Lamparski

Reprenant les travaux antérieurs de Todd, Pyle, Elsberg et Dyke, Lannier, Bick et Copel, et Hinck (*in* Bonnefont et al, 15) Lamparski définit 6 indicateurs de maturation appelés **CVM (Cervical Vertebral Maturation)** au niveau de 5 sites anatomiques que sont les vertèbres cervicales **C2 à C6**.

Ils sont définis comme suit :



Description	CVM	Rapport au pic pubertaire
Tous les bords inférieurs des corps vertébraux sont plats Les bords supérieurs sont inclinés d'arrière en avant et de haut en bas.	1	ACCELERATION
Concavité au bord inférieur de C2 Le bord antérieur de tous les corps vertébraux s'accroît en hauteur.	2	
Concavité au bord inférieur de C3	3	
Concavité au bord inférieur de C4 et début de concavités aux bords inférieurs de C5 et C6. Les corps vertébraux ont une forme rectangulaire	4	PIC
Concavités à tous les bords inférieurs de toutes les vertèbres C2-C6. Les corps vertébraux ont une forme carrée et les espaces intervertébraux sont diminués.	5	DECELERATION
Toutes les concavités se sont approfondies Les corps vertébraux sont rectangulaires, plus hauts que larges.	6	

**Fig. 61 a et b : Indicateurs recherchés dans l'étude des vertèbres cervicales d'après Lamparski (*in* 48).**

Ainsi chaque étape possède des critères morphologiques qui lui sont propres et reflète un niveau de maturation spécifique qui est interprété comme positionnement par rapport au pic de croissance pubertaire. Sauf exception, il n'est pas donné d'âge osseux. L'enfant est directement placé par rapport au pic de croissance et les conséquences sur le traitement en sont déduites (cf. Björk).

### 2.6.1.2.6.3. Méthode de Hassel & Farman

Hassel & Farman (48) développent en 1995 un **CVMI (Cervical Vertebral Maturation Index)** issu de l'étude du profil des trois vertèbres C2-C3-C4 sur un échantillon de 220 enfants âgés de 8 à 18 ans.

6 étapes sont distinguées et mises en relation avec les SMI de Fishman.

CVMI		Description	Correspondance SMI	Quantité de croissance à espérer (%)
1	Initiation	Tous les bords inférieurs sont plats	1 et 2	80 - 100
2	Accélération	Concavités C2 C3 (C4 toujours plat) C3 et C4 presque rectangulaires	3 et 4	65 - 85
3	Transition	Concavités distinctes C2 et C3 Début de concavité C4 C3 et C4 ont une forme rectangulaire	5 et 6	25 - 65
4	Décélération	Concavité distincte C4 C3 et C4 ont une forme carrée	7 et 8	10 - 25
5	Maturation	Les concavités se creusent	9 et 10	5 - 10
6	Complétion	C3 et C4 plus hauts que larges	11	0 - 5

**Fig. 62 : Indicateurs recherchés dans l'étude des vertèbres cervicales d'après Hassel & Farman (48).**

Sa précision est supérieure à celle de Lamparski d'une part parce que l'échantillon est plus conséquent et mieux réparti en âge, et d'autre part parce que la description des niveaux de maturation est plus détaillée. Elle présente l'intérêt supplémentaire de proposer une correspondance avec la méthode de Fishman et de quantifier la croissance à espérer.

En revanche, le sexe de l'enfant n'est pas pris en compte et il n'est pas proposé d'âge osseux.

#### 2.6.1.2.6.4. Méthode de Baccetti et Franchi

Elle représente la synthèse des méthodes CVM de Lamparski et CVMI de Hassel & Farman.

L'amélioration consiste à redéfinir les étapes de maturation autrement que par les seuls changements apparus entre deux niveaux successifs, afin de pouvoir identifier le niveau de maturation effective sur un seul cliché.

Sur un échantillon de 706 enfants ne sont retenus que les enfants dont on possède au moins 6 clichés radiographiques consécutifs, soit 214 enfants. Les clichés sont digitalisés puis la distance Condylion–Gonion (Co-Go) est mesurée sur l'ensemble des clichés. L'augmentation maximale entre deux clichés de Co-Go est recherchée. Elle permet de définir le moment du pic pubertaire mandibulaire. Ensuite sont recherchés parmi l'échantillon les enfants présentant 2 clichés antérieurs et deux clichés postérieurs à cet intervalle. L'échantillon est réduit à 30 enfants (18 garçons et 12 filles).

La méthode devient **CVMS (Cervical Vertebral Maturation Stage)**. Elle comprend 5 niveaux de maturation détaillés dans le tableau de la figure 59 (les niveaux CVMI 1 et 2 de Hassel et Farman ont été rassemblés en CVMS 1 car ne présentant aucune différence statistiquement significative).

Comme Lamparski elle permet de placer l'enfant par rapport au pic pubertaire et ne définit pas d'âge osseux.

CVMS	Description	Pic pubertaire
1	Bord inférieur plat sauf C2 dans 50% des cas C3 et C4 sont de forme trapézoïde	Pas avant 1 an
2	Concavités C2 et C3 C3 et C4 sont trapézoïdes ou rectangulaires	Dans l'année
3	Concavités C2, C3, C4 C3 et C4 rectangulaires	Depuis moins d'1 an
4	Concavités C2, C3, C4 Concernant C3 et C4 : au moins l'un des deux corps est carré, et l'autre est rectangulaire	Depuis 1 ou 2 an(s)
5	Concavités C2, C3, C4 Concernant C3 et C4 : au moins l'un des deux corps est rectangulaire plus haut que large, et l'autre est carré	Depuis 2 ans

*Fig. 63 : Indicateurs recherchés dans l'étude des vertèbres cervicales d'après Baccetti et Franchi (8).*

### 2.6.1.2.6.5. Méthode de Mito

En 2002, Mito étudie un échantillon de 176 filles âgées de 7 à 15 ans réparties en 8 groupes de 22 filles pour chaque tranche d'âge et dont il mesure les corps vertébraux C3 et C4 (71). A partir de ces mesures, il définit une équation de régression permettant d'obtenir un âge osseux (**CVBA = Cervical Vertebral Bone Age**) à partir des rapports de dimensions des corps vertébraux. Cette formule a ensuite été testée sur un deuxième groupe de 66 filles âgées de 8 à 14 ans par comparaison avec la méthode de cotation TW2 (système RUS).

La lecture des clichés consiste à mesurer 4 paramètres sur chacune des deux vertèbres C3 et C4 : (cf. fig. 64) :

- Hauteur antérieure du corps vertébral (AH)
- Hauteur du corps vertébral en son milieu (H)
- Hauteur postérieure du corps vertébral (PH)
- Dimension antéropostérieure du corps vertébral (AP)

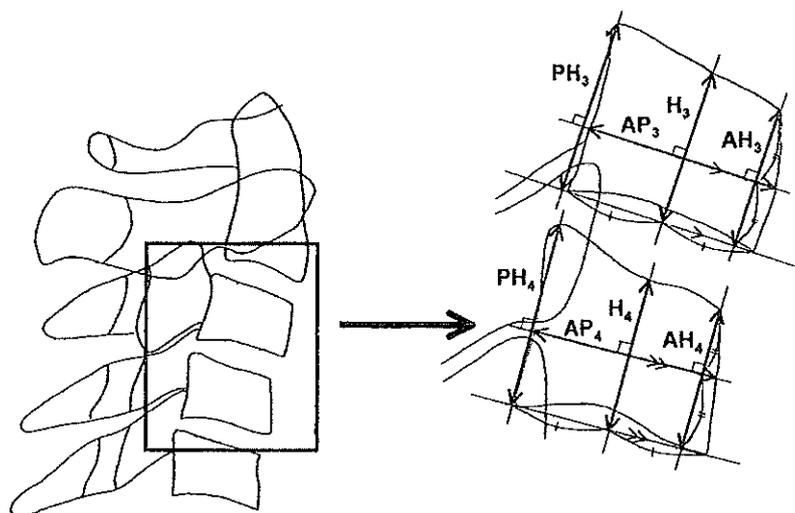


Fig. 64 : Mesure des vertèbres cervicales C3 et C4 d'après Mito (71).

Les ratios AH/AP, H/AP, PH/AP, AH/H, H/PH et AH/PH sont ensuite calculés et l'équation de régression déterminée.

$$\text{CVBA} = -0.2 + 6.2 \times \text{AH}_3/\text{AP}_3 + 5.9 \times \text{AH}_4/\text{AP}_4 + 7.74 \times \text{AH}_4/\text{PH}_4$$

La formule a été trouvée statistiquement plus précise que l'âge chronologique pour évaluer l'âge osseux, et l'écart entre les âges osseux déterminés par la formule de régression et TW2 (0.75 an  $\pm$  0.56) est inférieur à celui observé entre l'âge osseux (TW2) et l'âge chronologique (1.17 an  $\pm$  0.86). La corrélation entre l'âge osseux (TW2) et l'âge osseux vertébral (CVBA) est de 0.869 à  $P < 0.001$ .

Cette méthode présente l'avantage de proposer un âge osseux déterminé de manière objective par une analyse individuelle des clichés et non par comparaison à un atlas de référence comme celui de Lamparski. L'étude d'un seul sexe est volontaire : contrôler le nombre de paramètres qui puissent influencer le résultat en évitant la variation liée au dimorphisme sexuel. Une étude complémentaire sur une population de garçons est à venir.

### 2.6.1.2.6.6. Méthode de San Roman

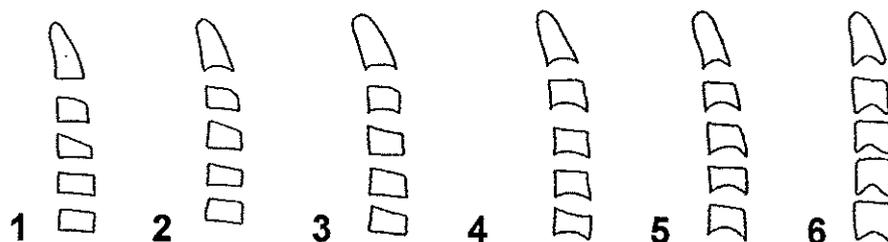
En 2002, San Roman et al réalisent une étude sur un échantillon de 958 enfants caucasiens (428 garçons et 530 filles). Les critères de sélection sont (83):

- Age chronologique compris entre 5 et 18 ans
- Radio du poignet et téléradio de profil disponibles (moins d'un mois d'intervalle entre les deux radios)
- Pas de maladie générale diagnostiquée
- Pas de traitement orthodontique antérieur

La téléradiographie de profil est analysée selon une méthodologie qui redéfinit les niveaux précédents et présente l'avantage d'étudier l'un après l'autre (de manière indépendante et séquentielle) les trois caractères généraux du rachis cervical et de proposer une formule de régression permettant d'attribuer un âge osseux au rachis radiographié.

#### 1. Analyse de la concavité du bord inférieur du corps vertébral de C2 à C6.

Elle est considérée comme présente si la flèche est  $\geq 1\text{mm}$ . 6 niveaux sont définis comme suit (fig. 65):

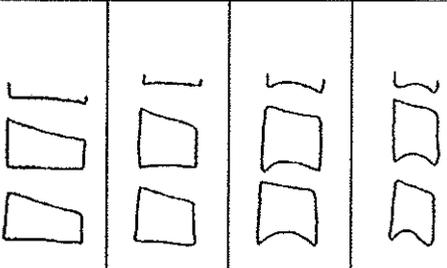
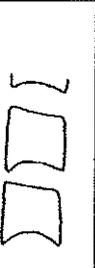


Niveaux	Description
1	Tous les bords inférieurs des corps vertébraux sont plats
2	Concavité au bord inférieur de C2
3	Concavité au bord inférieur de C3
4	Concavités au bord inférieur de C4, C5 et C6 Les concavités de C2 et C3 s'accroissent
5	Toutes les concavités se sont approfondies
6	Toutes les concavités sont profondes et les angles inférieurs sont arrondis.

*Fig. 65 : Etude de la bordure inférieure des corps vertébraux C2 à C6 d'après San Roman (83).*

2. Calcul de la hauteur et de la largeur\* du corps vertébral de C3 et C4 en leur milieu.

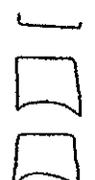
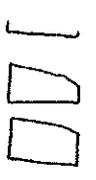
La figure 66 illustre les repères utilisés et les 4 niveaux définis.

1	2	3	4	Niveaux	Rapport Hauteur / Largeur (%)
				1	$\leq 80$
				2	$80 < \leq 99$
				3	100
				4	$\geq 100$

**Fig. 66 : Calcul du rapport des dimensions des corps vertébraux C3 et C4 d'après San Roman (83).** \*La littérature parle de « largeur » bien qu'il s'agisse ici d'une dimension antéropostérieure et non transversale.

3. Etude de la forme générale du corps vertébral de C3 et C4.

La figure 67 illustre les 6 niveaux définis.

1		Le bord supérieur est incliné d'arrière en avant Les deux corps vertébraux sont trapézoïdes	4		Corps vertébraux presque carrés
2		C3 trapézoïde C4 presque rectangulaire et l'angle supéro-antérieur est absent	5		Corps vertébraux carrés
3		C3 et C4 rectangulaires	6		Corps vertébraux rectangulaires plus hauts que larges

**Fig. 67 : Etude de la forme générale des corps vertébraux C3 et C4 d'après San Roman (83).**

Statistiquement, une équation de régression multiple a été établie pour fournir une estimation de l'âge osseux en fonction des trois variables générales (forme, hauteur, concavité). Cette équation de régression est valable pour l'échantillon.

De ces trois caractères, la concavité du bord inférieur est la plus significative de la maturation. La hauteur présente une corrélation plus faible. Ceci peut être dû à la multiplicité des facteurs qui interviennent (pressions, positions corporelles, maladies, schéma facial) (57).

Les résultats de cette équation sont fortement corrélés à ceux trouvés par l'étude du poignet selon Grave & Brown (corrélation de 0.85 pour les garçons et 0.79 pour les filles), et comparables à la méthode de Hassel & Farman (48) dont la corrélation avec le poignet est de 0.84 pour les garçons et 0.77 pour les filles.

En conclusion, bien que comparable en précision aux techniques précédentes, elle présente l'avantage majeur de proposer un âge osseux issu de l'étude individuelle et séquentielle des trois caractères morphologiques des corps vertébraux.

#### **2.6.1.2.6.7. Avantages de la radio des vertèbres**

Cette analyse ne nécessite pas de documents radiographiques supplémentaires aux téléradiographies utilisées habituellement pour le diagnostic orthodontique. Elle n'engendre donc ni rayonnement ni coût supplémentaire.

L'enregistrement des données est simple.

La méthode (quelle que soit sa variante) a été testée statistiquement et trouvée fiable à la fois statistiquement et cliniquement. Elle a été comparée avec l'étude de la main (TW2, Greulich et Pyle) et une corrélation fortement positive a été trouvée (37, 38). La reproductibilité des données est très haute (91.2% pour Panchez et al, 98.6% pour Baccetti et al).

Hellsing cité par Franchi (36) a établi une corrélation significative entre les dimensions sagittales du corps vertébral (hauteur et longueur) et la taille staturale.

Les stades de maturation cervicale sont liés aux changements mandibulaires qui ont lieu pendant la puberté (O'Reilly & Yaniello, 76). Ce qui est confirmé par Mitani et Sato en 1992 (69).

L'introduction de méthodes statistiques complexes permet d'ouvrir le champ d'étude des vertèbres à une lecture et une interprétation objectives des clichés. L'étude des vertèbres cervicales représente aujourd'hui dans la littérature orthodontique consacrée à la maturation osseuse le champ d'investigation présentant le plus grand nombre de publications récentes, signe de l'intérêt qui lui est porté et de la recherche toujours présente de l'indicateur le plus fiable pour évaluer la maturation osseuse du jeune enfant.

Enfin, le fait de s'intéresser à la radio-anatomie du rachis cervical permet également à l'orthodontiste d'analyser la posture cervicale et de différencier précocement les variations physiologiques des pathologies qui peuvent y siéger et ainsi d'en diminuer les conséquences médicales pour l'enfant. Parmi ces anomalies, citons : fractures, infections, polyarthrite ankylosante, spondylarthrite, absence d'arc postérieur, anomalies de forme de l'odontoïde, etc....

#### **2.6.1.2.6.8. Inconvénients de la radio des vertèbres**

Certains auteurs estiment que l'observation des 5 vertèbres cervicales C2- C6 est difficile, voire impossible en cas de port d'un collier thyroïdien (66). C'est pourquoi d'autres techniques focalisées sur C2-C4 ont été proposées.

Hassel & Farman (48) préconisent d'utiliser les SMI de Fishman en complément dans les cas limites où l'évaluation est difficile.

L'interprétation des niveaux de maturation vertébrale peut paraître subjective (Mito, 72).

## 2.6.2. Analyse statistique et comparaison de toutes ces méthodes

La plupart des études portent sur la fiabilité d'un indicateur biologique à déterminer le pic pubertaire. Tous les indicateurs biologiques ont été évalués par rapport au pic de croissance staturale, cependant l'évaluation de la corrélation avec la croissance mandibulaire n'est disponible, elle, que pour trois indicateurs : (Baccetti, 8)

- La taille staturale. (cf. travaux de Björk)
- La radio main-poignet.
- La radio des vertèbres cervicales .

Concernant la relation entre la croissance mandibulaire et la morphologie des vertèbres cervicales, plusieurs études ont été conduites :

- O'Reilly et Yaniello (76) ont évalué la relation entre les 6 stades de maturation cervicale et le gain de croissance :
  - Du Corpus (Go-Pog)
  - Du Ramus (Ar-Go)
  - De la mandibule (Ar-Pog)

Sur un échantillon de 13 filles caucasiennes âgées de 9 à 15 ans. Les résultats de leur étude ont établi une augmentation significative ( $p < 0.0001$ ) des dimensions mandibulaires à certains stades de maturation cervicale :

Hauteur mandibulaire (Ar-Go)	Stades 1-2
Longueur du corpus (Go-Pog)	Stades 1-2-3
Longueur mandibulaire (Ar-Pog)	Stades 1-2-3-4

Les cinq indicateurs de maturation que nous avons évoqué ne sont donc pas étudiés de la même façon, avec le même objectif et le même « matériel » statistique.

Parmi toutes les études réalisées, il convient de rappeler que chaque protocole diffère de l'un à l'autre et qu'il est donc très rare de pouvoir comparer les résultats décrits dans les différents articles de la littérature. Il en est de même pour les corrélations effectuées entre indicateurs.

Les résultats décrits invitent donc une fois encore à la prudence.

## 2.6.3. Conclusion : détermination pratique de la maturation osseuse en clinique quotidienne

### 2.6.3.1. Considérations générales

- Concernant l'intérêt de ces méthodes, Bonnefont et al (15) considèrent la radio de la main comme inutile pour cerner la croissance faciale et surtout la croissance mandibulaire. On peut en effet admettre une exagération de l'importance du pic pubertaire dans ses proportions avec les autres phases de croissance. Quand bien même il est vrai que la quantité de croissance au moment du pic est à relativiser face à la quantité de croissance en bas âge, force est de constater que les enfants qui consultent pour la première fois en orthopédie dento-faciale ont un âge où, au mieux, seule la croissance pubertaire reste à venir (quel que soit son degré). Cet examen reste donc un moyen d'évaluation de la croissance staturale et d'évaluation du sujet sur sa courbe individuelle de croissance (Pelosse, 77) malgré les imprécisions éventuelles. Il est donc justifié de s'y intéresser et de tenter de l'évaluer.
- Concernant la précision des méthodes proposées, rappelons que leur utilisation ne pourra gagner en précision que :
  - par l'emploi d'études longitudinales, c'est-à-dire par le suivi de l'enfant sur plusieurs années et non par l'examen d'un seul et unique cliché radiographique.
  - par un examen systématique et protocolaire qui assurera un maximum de précision et de reproductibilité dans l'interprétation des radiographies et l'établissement des âges squelettiques.
- On ne pourra diagnostiquer une avance ou un retard d'âge osseux que si cette différence est conséquente et se pérennise dans le temps sur plusieurs examens successifs. Une seule évaluation ne permet pas d'affirmer un retard ou une avance de maturation.
- Lorsque l'âge squelettique d'un individu est recherché dans un but clinique, la vitesse de maturation est affectée par la discontinuité introduite par la méthode quelle qu'elle soit et par la variabilité du sujet lui-même. Les résultats obtenus doivent donc être interprétés avec **prudence** (10).
- Malgré ses limites, l'âge squelettique conserve bien des avantages sur l'âge chronologique, et particulièrement chez les enfants dont le développement est avancé ou retardé et chez qui il devient le seul indicateur fiable disponible (Leite et O'Reilly, 59). Cette observation suffit à elle seule pour justifier une évaluation systématique de la maturation osseuse chez l'enfant en croissance.

### 2.6.3.2. La proposition de Rohr

En 1971, Rohr (81) évoquait les différentes méthodes disponibles à l'époque. Il retenait qu'aucune d'entre elles ne garantissait à elle seule une précision acceptable tout au long de la croissance de l'enfant. Il proposa donc d'adapter la méthode d'évaluation à l'âge chronologique de l'enfant selon la figure 68.

Age chronologique	Méthode d'évaluation
Entre 5 et 9 ans	Comparaison à une radio de la main et du poignet selon Greulich et Pyle
Entre 9 et 15 ans	Radio de la main (GP) et radio du coude selon Sauvegrain, Nahum et Bronstein.
Après 15 ans	Radio du segment caractéristique

*Fig. 68 : Choix de la méthode de détermination de l'âge osseux selon l'âge chronologique de l'enfant selon Rohr (81).*

### 2.6.3.3. Essai de proposition

Aujourd'hui, la proposition de Rohr est à adapter aux méthodes actuelles qui viennent simplifier l'évaluation de la maturation osseuse. En effet, il n'existait pas de méthode radiographique permettant d'apprécier la maturation de l'enfant tout au long de sa croissance. Cela semble chose faite aujourd'hui par l'étude de la radio de la main (système de cotations) et par l'étude des vertèbres.

La proposition de Rohr reste d'actualité dans son principe puisqu'il demeure qu'en clinique il importe moins de quantifier l'âge osseux que de déterminer où en est l'enfant dans sa maturation (rapport au pic pubertaire).

Les deux critères de choix principaux sont l'âge de l'enfant et la rapidité de l'analyse (compatibilité avec la clinique quotidienne).

Plusieurs possibilités s'offrent à nous selon l'objectif et le degré d'approche auxquels on consent. Ces possibilités sont résumées à la figure 69 :

Le but de chacune des méthodes présentées ci-dessus étant d'évaluer l'état de développement d'un individu en assignant des âges osseux à différents moments du processus de maturation, Cox (23) rappelle que leur défaut commun est d'assigner des valeurs discrètes à la maturation alors qu'il s'agit d'un processus continu comme nous l'avons déjà évoqué.

Rechercher chaque niveau de maturation est une étape indispensable dans le processus d'évaluation de la maturation. L'imprécision de toutes ces méthodes est due à la variabilité individuelle qui nous empêche de déterminer précisément la distance au pic de croissance (Leite et O'Reilly, 59) qui reste l'objectif de ces études. C'est là tout l'enjeu des techniques de prévision de croissance.

Il s'agit bien là d'un outil supplémentaire ayant sa place dans le processus diagnostique. Mais rappelons qu'en aucun cas il n'est censé se substituer à lui.

Les méthodes les plus simples sont peut-être les meilleures si elles permettent aux praticiens de mettre en place dans leur pratique quotidienne un **système rigoureux de décision du moment de traitement**.

En résumé, gardons à l'esprit l'influence des facteurs de variation (taille, poids, pathologie, etc.) sachant qu'ils influencent la durée des différents stades de maturation et non leur séquence. Il nous faut donc **multiplier les sources de renseignements** et coupler l'âge chronologique et les informations recueillies par l'étude de la taille staturale, avec les informations issues de l'étude de la maturation osseuse : c'est ce que Sempé propose et définit comme **méthode auxoradiographique** (86).

Quel degré ?	Quelle méthode ?	Quels résultats ?	Référence (cf.)
Degré 0 (Pas d'approche)	Aucune	Aucune estimation du degré de maturation de l'enfant. On ne sait rien du pic pubertaire	Néant
1 <sup>er</sup> degré (Approche superficielle, rapide)	Radio du sésamoïde et MP3 [cône dentaire]	Sésamoïde présent => trop tard pour profiter de l'accélération de croissance Les stades MP3 permettent de confirmer la position par rapport au pic	2.6.2.2.2.3.1.3 2.6.2.2.2.3.1.4
2 <sup>o</sup> degré	Méthode des 3 doigts (pouce, index, majeur)	Bonne précision. Permet de placer l'enfant sur sa courbe de croissance et d'évaluer la fin de la croissance mandibulaire (DP1)	2.6.2.2.2.3.1.6
3 <sup>o</sup> degré	Vertèbres cervicales	=> Donne le niveau de maturation atteint tout au long de la croissance (sans radios supplémentaires) => Place l'enfant par rapport au pic pubertaire	2.6.2.2.5.2 2.6.2.2.5.4
		=> Estime la quantité de croissance résiduelle	2.6.2.2.5.3
4 <sup>o</sup> degré	Vertèbres cervicales (analyse de régression multiple)	=> Age osseux estimé	2.6.2.2.5.5 2.6.2.2.5.6
5 <sup>o</sup> degré	Radio de la main (analyse qualitative selon Fishman)	=> Place l'enfant par rapport au pic pubertaire	2.6.1.2.2.2.5
6 <sup>o</sup> degré (Recherche)	(systèmes de cotations selon Sempé ou Tanner)	=> Age osseux estimé	2.6.1.2.2.3
<b>Croissance mandibulaire</b>	Articulation DP1	Fusion DP1 => Permet de confirmer la fin de la croissance mandibulaire	2.6.2.2.2.3.1.5

**Fig. 69 : Choix de la méthode de détermination de l'âge osseux selon l'objectif et le degré d'approfondissement voulu.**

## 3. APPLICATIONS EN ODF

A l'origine, le traitement orthodontique visait à résoudre un problème de déplacements dentaires pour améliorer l'esthétique et la fonction masticatoire. Puis le champ d'application des techniques orthodontiques s'est étendu à l'orthopédie de sorte que nous avons aujourd'hui la possibilité et le devoir d'agir sur cette croissance pour l'optimiser. La recherche scientifique a montré que le résultat du traitement des anomalies de croissance (incluant la correction des malocclusions) dépendait directement de l'intensité de la croissance et indirectement de la prévision des étapes à venir de croissance faciale (15).

La perspective d'une prise en charge thérapeutique de l'enfant, quelle qu'elle soit, nécessite donc un maximum d'informations sur le statut maturationnel de l'enfant puisqu'il a une portée considérable sur le diagnostic, la définition des objectifs de traitement, l'établissement du plan de traitement, et les résultats du traitement (Moore, 73).

L'intérêt pour les moyens d'évaluation de la maturation osseuse est lié aux possibilités d'applications cliniques qui leur sont associées.

### 3.1. Application diagnostique

#### 3.1.1. Orientation du diagnostic

L'âge chronologique sert de base de calcul pour établir les standards céphalométriques utilisés actuellement en orthopédie dento-faciale (Fishman, 30). Ceci peut expliquer en partie le débat sur la perspicacité des résultats céphalométriques chez certains sujets. En effet, tous les auteurs s'accordent pour considérer qu'il n'est pas un indicateur fiable du niveau de maturation atteint par l'enfant. Cela conduit le praticien à rechercher d'autres indicateurs dont la lecture permettrait d'appréhender cette maturation. En identifiant le niveau de maturation atteint par l'enfant le praticien sera à même d'évaluer la quantité restante de croissance à espérer et d'en adapter le traitement (Fishman, 30).

De Coster cité par Deplagne (27) estime que le fait d'apprécier et de comparer entre eux l'âge civil, l'âge staturo-pondéral, l'âge dentaire et l'âge osseux donne une bonne idée du développement général de l'individu.

Pour Canovas (18), l'âge osseux permet dans un premier temps d'orienter le diagnostic statural chez des enfants présentant une anomalie de taille :

- En identifiant un syndrome (Coutinho, 22).
- Hormis les syndromes, en comparant l'âge osseux, l'âge civil et la taille staturale selon le tableau suivant (fig. 70) :

Enfant de petite taille	Age osseux $\Leftrightarrow$ Age Civil	Retard de croissance génétique ou intra-utérin
	Age Osseux < Age Civil	Retard de maturation si absence de maladie chronique
Enfant de grande taille	Age osseux $\Leftrightarrow$ Age Civil	Grande taille familiale
	Age Osseux > Age Civil	Maturation rapide physiologique Puberté précoce (cf. 1.2.1) (rare)

**Fig. 70 : Orientation du diagnostic statural en fonction de deux paramètres : taille staturale et rapport des âges osseux et civil d'après Canovas (18).**

Ensuite, l'investigation doit être approfondie en situant l'enfant sur sa courbe de croissance.

### 3.1.2. Pourquoi situer l'enfant sur sa courbe de croissance ?

Nous avons vu que la seule courbe individuelle de croissance que l'on puisse obtenir chez un enfant de manière aisée et reproductible était sa courbe de croissance staturale.

La construction de la courbe de croissance staturale (cf. deuxième partie) se fait à intervalles réguliers, si possibles rapprochés (trois mois). Dans l'absolu, l'idéal est :

- de demander aux parents de mesurer leur enfant tous les mois dans les mêmes conditions (moment de la journée, matériel, etc...) afin de compléter les mensurations prises par le praticien.
- de mesurer l'enfant assis et debout afin de prendre en compte la croissance du segment inférieur.

Parallèlement à cela, d'autres indicateurs de maturation (cf. deuxième partie) doivent être utilisés pour corroborer le niveau de maturation atteint par l'enfant.

- le sésamoïde (14, 43)
- la fusion épiphysaire des phalanges médianes (14, 43, 47)
- les vertèbres cervicales
- la radio de la main

En construisant cette courbe, le clinicien est à même d'apprécier si le schéma de croissance de l'enfant s'apparente à la courbe moyenne de croissance définie par Björk où s'il laisse entrevoir

un schéma particulier de croissance, laissant deviner un rythme lui aussi particulier lequel devra être affiné par d'autres mesures.

Rappelons maintenant les objectifs que de nombreux praticiens veulent atteindre par l'étude de la courbe de croissance individuelle :

- Déceler les sujets présentant une discordance entre l'âge dentaire et l'âge civil (15)
- Déceler un retard ou une avance de maturation osseuse.
- Raccourcir la durée du traitement (15, 39)
- Estimer la date de début :
  - du traitement orthopédique des prognathies, promaxillies et béances (Koski, Philippe, *in* Bonnefont et al, 15)
  - du traitement orthodontique (14, 15)
- Réduire les classes II (dysmorphies non évolutives) quand la croissance est maximale (Mauchamp et Nanda, *in* Bonnefont et al, 15).
- Etablir le plan de traitement des classes II division 1 avec extractions (39)
- Corriger certaines classes II division 2 après déverrouillage de l'occlusion
- Corriger les classes III, la dysmorphie étant évolutive (Mauchamp et Nanda, *in* Bonnefont et al, 15).
- Utiliser des appareils modifiant la croissance :
  - Appareils d'expansion maxillaire (Reveld & Fishman *in* Bonnefont et al, 15)
  - Activeurs (Woodside, Mauchamp et Nanda, Harris, Petrovic et al *in* Bonnefont et al, 15)
  - Forces Extra Orales (FEO) (Philippe, Smith, Mauchamp et Nanda, *in* Bonnefont et al, 15 ; Fishman, 32 ; Kopecky, 55)
- Réduire un surplomb incisif (Houston, 49)
- Décider des extractions (14). Pour Grave, si l'orthodontiste ne regarde pas le niveau de développement de l'enfant, la décision « Extraction / Non extraction » sera plus difficile (40).
- Choisir le moment de la chirurgie orthognatique (Helm *in* Bonnefont et al, 15)
- Gérer la période post-chirurgicale des patients en croissance (Farkas, *in* Bonnefont et al, 15)

Pour beaucoup d'auteurs, ce procédé contribue à :

- définir un traitement « le plus efficace possible »
- mettre en œuvre « les moyens les plus simples »
- et obtenir « les résultats les meilleurs » (Béry cité par Bonnefont et al, 15)

Ce qui se résume à OPTIMISER le traitement et ses composantes : ses objectifs, sa chronologie, et les moyens à mettre en œuvre.

Pour Grave (42) la recherche des indicateurs de maturation complète le diagnostic et permet ensuite d'estimer la croissance à venir, ce qui introduit la notion de pronostic.

## 3.2. Application pronostique

La démarche pronostique consiste à émettre un avis sur la durée et le devenir d'un paramètre quelconque (maladie, etc.). En ODF, il s'agit de pronostiquer :

- La durée de la croissance de l'enfant (staturale et faciale) et son devenir (taille, typologie, ...)
- La durée du traitement orthopédique et/ou orthodontique et son devenir (stabilité, risque de récurrence ou de rechute, contention)

Le fait de s'intéresser à la croissance de l'enfant permet d'optimiser le traitement orthodontique et diminue de ce fait les risques d'échec.

Pour ce faire, il nous faut dans un premier temps :

- situer le pic pubertaire dans le temps par rapport au niveau réellement atteint par l'enfant. En effet, si l'on tient compte du (quasi)-synchronisme de croissance établi par Björk et Helm (14), la détermination du pic pubertaire statural dans le temps (passé, ou à venir) est la clé du pronostic de croissance faciale. Si la pédiatrie s'intéresse au développement de l'enfant, c'est souvent pour le comparer à la moyenne statistique des enfants de même âge et de même sexe. En revanche, il semble plus pertinent pour l'orthodontiste de placer chaque enfant par rapport à son propre pic de croissance pubertaire afin d'apprécier son apparition dans le temps.
- puis estimer la taille adulte staturale (et faciale si possible) de l'enfant.

Dans un second temps ces données permettront d'apprécier le potentiel de croissance à venir qui doit si possible être déterminé de manière qualitative (quelle direction de croissance ?) et quantitative (quelle quantité de croissance ?).

### 3.2.1. Pronostic du pic pubertaire

Les différentes méthodes que nous avons parcourues dans la deuxième partie nous permettent d'établir avec une fiabilité relative le moment d'apparition du pic pubertaire. Les plus intéressantes prévoient l'apparition du pic *a priori*, devenant ainsi des moyens de prévision. Hormis les enfants dont le schéma de croissance semble échapper à toute prévision (et qui nécessitent un suivi particulier) le pic pubertaire peut aujourd'hui être prévu avec suffisamment de précision pour en tenir compte dans les décisions thérapeutiques.

#### 3.2.1.1. Généralités

On retiendra :

- Que la prévision est d'autant plus précise à mesure que l'on s'approche du pic (73) et que les premiers signes pubertaires apparaissent (77). Houston considère que les prévisions faites plus de deux ans avant le pic pubertaire sont de faible valeur clinique (49).
- Que la prévision du début du pic pubertaire est plus précise en tenant compte de l'âge osseux de l'enfant qu'en tenant compte de l'âge civil moyen (11).
- Que les prévisions sont contraintes par le fait que les différentes pièces osseuses n'ont pas une croissance synchrone (14).

#### 3.2.1.2. Méthodes

- **La méthode CVMS (8)** (cf. 2.5.1.2.5.4)

CVMS I : Le pic n'apparaît pas avant un an.

CVMS II : Pic pubertaire dans l'année. Etape idéale pour commencer un traitement.

Que le pic pubertaire soit passé, présent, ou à venir, il faut compléter l'approche de la croissance résiduelle par l'estimation de la taille adulte et par l'appréciation du schéma de croissance dans son ensemble.

- **La Table de prévision du début du pic pubertaire chez le garçon** (Bergersen, 11)

Deux niveaux de confiance sont proposés : prévision à 67% ou à 95% (cf. fig. 71).

Les deux paramètres nécessaires sont l'âge civil (CA) et l'âge osseux (SA) évalué par l'atlas de Greulich et Pyle (43).

Le tableau nous donne l'âge moyen de prévision du pic pubertaire.

A 67 %	7	7	7	6	7	6	6	5	6	5	5	5	5
A 95 %	15	13	14	13	13	12	11	11	12	10	9	9	10
CA SA	8	8-6	9	9-6	10	10-6	11	11-6	12	12-6	13	13-6	14
6	10-3												
6-3	10-6												
6-6	10-9	10-3											
6-9	11	10-7											
7	11-4	10-10	10-3										
7-3	11-7	11-1	10-6										
7-6	11-10	11-4	10-10	10-1									
7-9	12-1	11-8	11-1	10-5									
8	12-4	11-11	11-4	10-8	10-4								
8-3	12-8	12-2	11-8	11	10-7								
8-6	12-11	12-5	11-11	11-4	10-11	10-4							
8-9	13-2	12-8	12-2	11-7	11-2	10-7							
9	13-5	13	12-6	11-11	11-5	10-11	10-5						
9-3	13-9	13-3	12-9	12-2	11-9	11-2	10-8						
9-6	14	13-6	13	12-6	12	11-6	10-11	10-4					
9-9	14-3	13-9	13-4	12-10	12-4	11-9	11-3	10-7					
10	14-6	14	13-7	13-1	12-7	12-1	11-6	10-11	10-5				
10-3	14-9	14-4	13-10	13-5	12-11	12-4	11-10	11-2	10-9				
10-6	15-1	14-7	14-2	13-9	13-2	12-8	12-1	11-6	11	10-4			
10-9	15-4	14-10	14-5	14	13-5	13	12-5	11-9	11-3	10-7			
11	15-7	15-1	14-9	14-4	13-9	13-3	12-8	12-1	11-7	10-10	10-4		
11-3	15-10	15-4	15	14-8	14	13-7	13	12-5	11-10	11-2	10-7		
11-6		15-8	15-3	14-11	14-4	13-10	13-3	12-8	12-1	11-5	10-11	10-5	
11-9		15-11	15-7	15-3	14-7	14-2	13-7	13	12-5	11-9	11-2	10-8	
12			15-10	15-6	14-11	14-5	13-10	13-3	12-8	12	11-5	10-11	10-7
12-3			16-1	15-10	15-2	14-9	14-2	13-7	12-11	12-3	11-9	11-3	10-10
12-6				16-2	15-6	15-1	14-5	13-10	13-3	12-7	12	11-6	11-1
12-9				16-5	15-9	15-4	14-9	14-2	13-6	12-10	12-4	11-9	11-4
13					16	15-8	15	14-6	13-9	13-2	12-7	12-1	11-8
13-3					16-4	15-11	15-4	14-9	14-1	13-5	12-10	12-4	11-11
13-6						16-3	15-7	15-1	14-4	13-8	13-2	12-8	12-2
13-9						16-6	15-10	15-4	14-7	14	13-5	12-11	12-5
14							16-2	15-8	14-11	14-3	13-8	13-2	12-9
14-3							16-5	15-11	15-2	14-7	14	13-6	13
14-6								16-3	15-5	14-10	14-3	13-9	13-3
14-9								16-7	15-9	15-2	14-6	14	13-6
15									16	15-5	14-10	14-4	13-9
15-3									16-3	15-8	15-1	14-7	14-1
15-6										16	15-4	14-10	14-4
15-9										16-3	15-8	15-2	14-7
16											15-11	15-5	14-10
16-3											16-2	15-9	15-2
16-6												16	15-5
16-9												16-3	15-8
17													15-11
17-3													16-3
R=	0.802	0.839	0.850	0.853	0.868	0.880	0.891	0.899	0.881	0.918	0.931	0.928	0.907

Fig. 71 : Table de prédiction de l'âge du pic pubertaire en fonction de l'âge civil et de l'âge osseux, selon Bergersen (11).

## 3.2.2. Pronostic des dimensions staturales et faciales adultes

### 3.2.2.1. Généralités

L'étude la taille adulte est indissociable de l'étude du pic pubertaire puisque la taille moyenne des parents module la taille atteinte à l'adolescence (fille et garçon), influençant de ce fait la position de la courbe de croissance le long de l'axe des ordonnées (taille).

Beaucoup d'études ont montré l'indépendance entre la stature adulte et le rythme du pic pubertaire. Tanner (95) en 1965 après avoir étudié un groupe d'enfants pendant les cinq premières années de leur vie et les avoir revus à l'âge adulte a conclu qu'il n'existait aucun rapport entre la taille à la naissance et la taille adulte et que la vitesse de croissance et la taille adulte n'étaient pas liées.

Le contrôle génétique du rythme de maturation semble indépendant du contrôle génétique de la taille staturale (56). Par conséquent, l'estimation de taille adulte est réalisable avant la fin de la puberté et même sans connaître les taux exacts de croissance à venir. En effet, bien que les individus diffèrent dans leur timing et commencent leur puberté à des âges (et des tailles) variables, cela n'affecte pas la taille staturale atteinte à l'âge adulte. C'est le « double mécanisme compensatoire » décrit par Vizmanos (99).

L'influence de l'hérédité sur la taille de l'enfant paraît évidente : les enfants de parents de grande taille ont statistiquement plus de chance d'être grands que les enfants dont les parents sont de petite taille.

Cependant les sujets qui grandissent le plus durant l'enfance ne sont pas forcément ceux qui grandissent le plus par la suite, et réciproquement (Philippe, *in* 15).

Pour Koziel (56), le paramètre le plus important pour expliquer les différences de taille observées à l'âge adulte est l'effet du dernier pic de croissance et principalement de son intensité, elle-même liée au degré de maturation.

Les tensions environnementales jouent également un rôle dans les processus de croissance et de maturation, surtout chez le garçon. La plus faible influence de ces effets compensatoires chez la fille semble garantir une meilleure fiabilité des prévisions de taille adulte. Ceci est vérifié par l'étude de corrélation entre la taille des parents et des enfants qui a montré que la corrélation était plus importante entre les parents et la fille qu'entre les parents et le fils. D'autres études portant sur des jumeaux monozygotes ont montré une concordance des tailles staturales supérieure chez les jumeaux filles par rapport aux jumeaux garçons (56).

Enfin, s'il est facile de prévoir qu'un enfant sera petit ou grand, il est plus difficile d'estimer cette taille au centimètre près et c'est pourtant ce qui intéresse le plus le clinicien (82). Autant cette précision est nécessaire pour mieux choisir un traitement adapté, autant elle est difficile à obtenir quand la croissance s'écarte de la moyenne statistique (82) puisque les systèmes de prévision sont construits à partir d'échantillons d'enfants ne présentant aucune anomalie particulière.

Pour cela plusieurs méthodes permettent d'approcher la taille adulte staturale et/ou faciale. Certaines nécessitent l'évaluation de l'âge osseux, d'autres non.

### 3.2.2.2. Méthodes d'estimation de la croissance non basées sur l'évaluation de la maturation osseuse

#### 3.2.2.2.1. Généralités

La médecine pédiatrique utilise plusieurs méthodes de prévision de la taille adulte dans le suivi des traitements des troubles de croissance par thérapie hormonale. Citons :

- L'exploitation des données parentales
- L'évaluation longitudinale du comportement de croissance
- La densité minérale osseuse
- Les marqueurs hormonaux de croissance

Nous n'évoquerons ici que le premier point qui seul concerne l'orthodontiste en pratique clinique quotidienne.

#### 3.2.2.2.2. Taille moyenne des parents

Il s'agit de la moyenne mathématique des tailles staturales des deux parents, en tenant compte du dimorphisme sexuel. Elle est également appelée « taille cible ». D'une manière générale, elle est définie comme suit.

Historiquement, la formule rencontrée est la suivante :

$$( \text{Taille du père} + \text{taille de la mère} ) / 2$$

Puis le dimorphisme sexuel statural a été pris en compte :

$$( \text{Taille du père} + \text{taille de la mère} + \text{différence sexuelle} ) / 2$$

Exemple : équation de Tanner (in 22) :

$$( \text{Taille du père} + \text{taille de la mère} \pm 13 ) / 2 \quad // \quad +13 \text{ pour les garçons et } -13 \text{ pour les filles}$$

Ainsi que les variations de taille d'une génération à l'autre :

$$( \text{Taille du père} + \text{taille de la mère} + \text{différence sexuelle} ) / 2 + \text{différence de génération.}$$

Bien entendu, plus la formule utilisée est simplifiée, plus la précision diminue (ceci est surtout vrai entre les deux premières formules). La deuxième formule semble suffire pour une pratique clinique quotidienne. La troisième formule n'a d'intérêt que dans une recherche clinique longitudinale portant sur plusieurs générations. La valeur attribuée à la différence sexuelle peut varier selon les zones géographiques. Les valeurs numériques des différences sexuelles et de génération doivent être actualisées régulièrement.

### **3.2.2.3. Méthodes d'estimation de la croissance basées sur l'évaluation de la maturation osseuse**

Depuis quelques années, l'intérêt pour l'estimation des dimensions faciales adultes de l'enfant a généré le développement de méthodes informatisées sophistiquées qui viennent s'ajouter aux méthodes existantes plus simples et plus anciennes. Pour Fishman (31), le facteur de progrès n'est pas la complexité de la méthode mais le choix de l'âge osseux de l'enfant comme paramètre fondamental de l'évaluation.

#### **3.2.2.3.1. Méthodes des évènements d'ossification**

Le potentiel de croissance est déterminé par l'analyse de la progression des évènements d'ossification (ex : MP3 et Radius pour Tanner et al (94, 95). Le potentiel de croissance est calculé à chaque étape et ajouté à la longueur initiale pour déterminer la longueur finale estimée (Sato, 84).

#### **3.2.2.3.2. Méthode du pourcentage de croissance**

La longueur (ou taille) adulte est déterminée en corrélant la longueur relative avec l'âge osseux (84).

$$\text{Longueur finale} = \text{longueur actuelle} / \% \text{age} \times 100$$

##### **3.2.2.3.2.1. Tables de Bayley et Pineau**

Leur objectif est de pouvoir déterminer le pourcentage de taille adulte atteint pour chaque âge osseux issu de l'étude de Greulich et Pyle, et donc d'estimer une taille adulte à partir de l'âge osseux et de la taille actuelle de l'enfant.

Elles prennent en compte le sexe de l'enfant et la concordance entre âge osseux et âge civil.

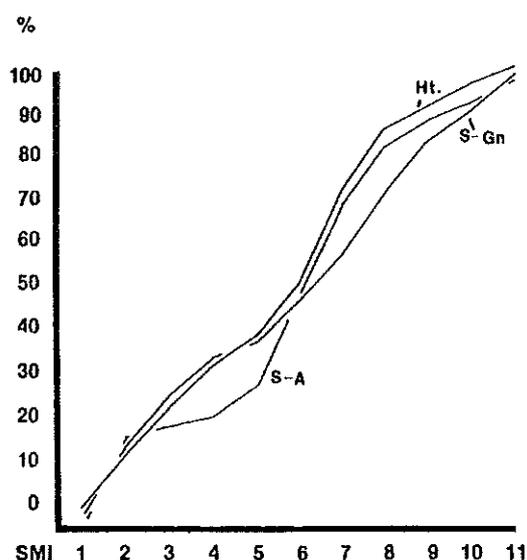
Les tables de Bayley et Pineau (cf fig. 72) sont utilisées dans de nombreuses méthodes de prévision de la taille staturale adulte. Cependant, cette méthode n'a jamais été utilisée pour prévoir des dimensions faciales adultes.

Age osseux	FILLES			GARCONS		
	Maturation Retardée	Moyenne	Maturation Avancée	Maturation Retardée	Moyenne	Maturation Avancée
6-0	0.733	0.720		0.68		
6-3	0.742	0.729		0.69		
6-6	0.751	0.738		0.70		
6-9	0.763	0.751		0.709		
7-0	0.770	0.757	0.712	0.718	0.695	0.670
7-3	0.779	0.765	0.722	0.728	0.702	0.676
7-6	0.788	0.772	0.732	0.738	0.709	0.683
7-9	0.797	0.782	0.742	0.747	0.716	0.689
8	0.804	0.790	0.750	0.756	0.723	0.696
8-3	0.813	0.801	0.760	0.765	0.731	0.703
8-6	0.823	0.810	0.771	0.773	0.739	0.709
8-9	0.836	0.821	0.784	0.779	0.746	0.715
9	0.841	0.827	0.790	0.786	0.752	0.720
9-3	0.851	0.836	0.800	0.794	0.761	0.728
9-6	0.858	0.844	0.809	0.800	0.769	0.734
9-9	0.866	0.853	0.819	0.807	0.777	0.741
10	0.874	0.862	0.828	0.812	0.784	0.747
10-3	0.884	0.874	0.831	0.816	0.791	0.753
10-6	0.896	0.884	0.846	0.819	0.795	0.758
10-9	0.907	0.896	0.860	0.821	0.800	0.763
11	0.918	0.906	0.883	0.823	0.804	0.767
11-3	0.922	0.910	0.887	0.827	0.812	0.776
11-6	0.926	0.914	0.891	0.832	0.818	0.786
11-9	0.929	0.918	0.897	0.839	0.827	0.800
12	0.932	0.922	0.901	0.845	0.904	0.809
12-3	0.942	0.932	0.913	0.852	0.843	0.818
12-6	0.949	0.941	0.924	0.860	0.853	0.828
12-9	0.957	0.950	0.935	0.869	0.863	0.839
13	0.964	0.958	0.945	0.880	0.876	0.850
13-3	0.971	0.967	0.955		0.890	0.863
13-6	0.977	0.974	0.963		0.902	0.875
13-9	0.981	0.978	0.968		0.914	0.890
14	0.983	0.980	0.972		0.927	0.905
14-3	0.986	0.983	0.977		0.938	0.918
14-6	0.989	0.986	0.980		0.948	0.930
14-9	0.992	0.988	0.983		0.958	0.943
15	0.994	0.990	0.986		0.968	0.658
15-3	0.995	0.991	0.988		0.973	0.967
15-6	0.996	0.993	0.990		0.976	0.971
15-9	0.997	0.994	0.992		0.980	0.976
16	0.998	0.996	0.993		0.982	0.980

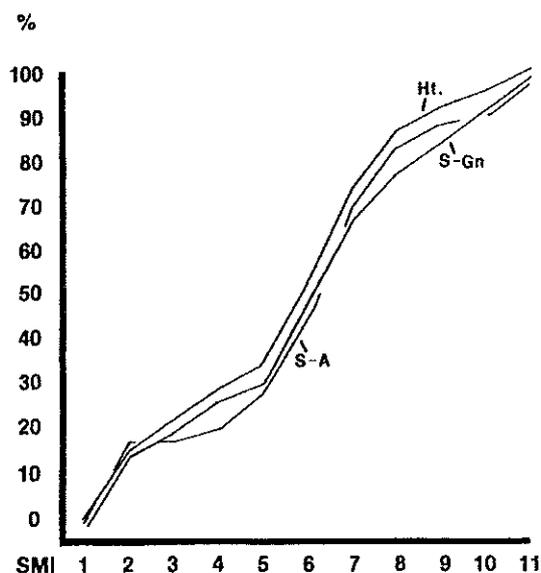
**Fig. 72 : Table de Bayley et Pineau révisée pour l'âge osseux selon Greulich et Pyle, d'après Greulich et Pyle (43).**

### 3.2.2.3.2. Méthode de Fishman

Sitôt après avoir développé sa méthode d'évaluation du niveau atteint de maturation squelettique (SMA), Fishman y a associé la méthode du pourcentage de croissance pour estimer la taille adulte de l'enfant. Elle est représentée par des courbes indiquant pour chaque sexe le pourcentage de croissance totale atteint en fonction du niveau de maturation osseuse (SMI). Fishman distingue la croissance staturale, maxillaire (représentée par le segment S-A) et mandibulaire (représentée par le segment S-Gn), permettant d'évaluer l'une ou l'autre de manière indépendante (fig. 73).



Pourcentage de croissance atteint chez la fille en fonction du stade de maturation osseuse.



Pourcentage de croissance atteint chez le garçon en fonction du stade de maturation osseuse.

Croissance atteinte (en pourcentage de la croissance totale) selon le niveau de maturation						
Fille				Garçon		
Taille Staturale	S-A	S-Gn	SMI	Taille Staturale	S-A	S-Gn
0	0	0	1	0	0	0
12.2	16.7	14.7	2	15	16.7	15.9
22.5	18.5	25	3	21.6	18.5	19.5
32.7	20.3	33.1	4	28.9	20.3	26.7
39.8	28.6	38.3	5	34	28.6	30.8
51.7	49.7	47	6	52.6	49.7	48.5
73.6	69	58	7	74.3	69	66.7
86.6	83	72.7	8	87.3	83	77.7
91.9	89.6	84	9	92	89.6	84.6
96.1	92.7	90	10	95.3	92.7	91.5
100	100	100	11	100	100	100

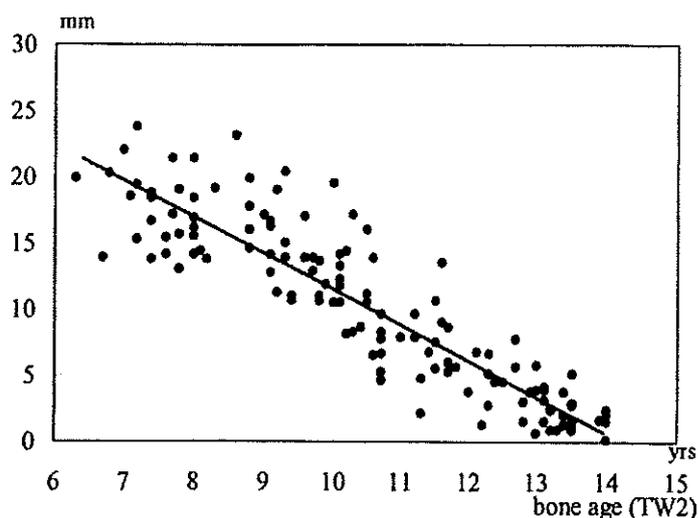
Fig. 73 a et b : Croissance atteinte en pourcentage de la croissance totale, d'après Fishman (31).

Nous observons :

- Que la moitié de la croissance staturale et faciale est accomplie au SMi 6, qui correspond au sommet du pic (cf. 2.5.1.2.2.2.5.2).
- Qu'il existe une similitude entre la courbe de croissance staturale et la courbe de croissance du segment S-Gn jusqu'au pic pubertaire.
- Qu'après ce pic la similitude de croissance concerne la courbe de croissance staturale et la courbe de croissance du segment S-A

### 3.2.2.3.3. Méthode du potentiel de croissance

Le potentiel de croissance est déterminé à partir de l'analyse de l'âge osseux sur une radio du poignet (TW2) ou à partir de l'âge osseux vertébral (CVBA). La progression de la croissance est considérée constante d'une année osseuse à l'autre et la relation entre la taille et l'âge osseux est supposée linéaire ( $Y = a X + b$ ) où Y représente le gain de croissance et X l'âge osseux (Sato et al, 84). La méthode consiste à estimer la taille finale en calculant le gain potentiel à partir de la ligne de régression de la taille à l'âge osseux (fig. 74).



*Fig. 74 : Courbe de régression entre la quantité de croissance mandibulaire (en mm) et l'âge osseux (TW2), d'après Sato et al (84).*

### 3.2.2.3.4. Méthode de régressions multiples de Tanner et Whitehouse

#### 3.2.2.3.4.1. Description

L'échantillon se compose de :

- 110 garçons pris au hasard et 34 garçons présentant des retards de croissance.
- 107 filles de taille moyenne, 19 filles de tailles excessives, et 10 filles de petite taille.

Les enfants sont mesurés chaque trimestre en décubitus, le matin une heure après le lever.

Les auteurs déterminent plusieurs équations de régression utilisant au plus 4 variables :

- La taille staturale (H) au moment de l'évaluation
- L'âge chronologique (CA) au moment de la mesure
- L'âge osseux (RUS) évalué par le système RUS
- L'âge d'apparition des règles (M)

Selon le cas, l'une des 4 équations suivantes convient :

$$(1) Y = a.H + b.CA + c.RUS + K$$

$$(2) Y = a.H + b.CA + c.RUS + d. \Delta H + K$$

$$(3) Y = a.H + b.CA + c.RUS + d. \Delta H + e. \Delta RUS + K$$

$$(4) Y = a.H + b.CA + c.RUS + f.M + K$$

**Fig. 75 : Détermination de la taille adulte de l'enfant selon Tanner et Whitehouse.  
Pour chaque enfant, l'une de ces quatre équations est utilisée (86).**

Où  $\Delta H$  et  $\Delta RUS$  sont respectivement la variation de taille staturale et la variation de l'âge osseux durant l'année écoulée et  $a, b, c, d, e, f, K$  des constantes.

Ces constantes sont établies par les auteurs à partir de l'échantillon de référence pour chaque équation de régression.

La précision de l'évaluation varie de 0.8 à 9.4 cm :

- selon l'équation choisie
- et pour une même équation selon l'âge de l'enfant.

#### **3.2.2.3.4.2. Discussion**

Il faut noter que cet écart de précision dépend directement de la quantité (variable) d'enfants constituant les groupes de l'échantillon de référence.

Drayer (28) a comparé chez 147 filles les prévisions de taille adulte selon les méthodes de Bayley-Pineau (*in* 43) et Tanner-Whitehouse aux tailles staturales adultes réellement atteintes. Les résultats indiquent :

- Que la méthode de Bayley-Pineau (*in* 43) a tendance à surévaluer l'estimation de taille staturale adulte (de  $0,7\text{cm} \pm 2,5\text{cm}$ ) tandis que la méthode de Tanner-Whitehouse (95) a tendance à sous-évaluer l'estimation de taille staturale adulte (de  $0,8\text{cm} \pm 2,9\text{cm}$  pour un expérimentateur et de  $1\text{cm} \pm 2,8\text{cm}$  pour un ordinateur).

- Que la méthode de Bayley-Pineau (*in* 43) est plus précise chez les filles non réglées tandis que la méthode de Tanner-Whitehouse (95) est plus précise chez les filles réglées.
- Que la précision de l'estimation est jugée acceptable chez la fille de plus de 11ans (âge osseux).

Enfin, cette méthode présente quelques inconvénients :

- Cette méthode nécessite le recueil de données longitudinales.
- Cette formule de régression n'a jamais été utilisée pour prévoir la taille adulte mandibulaire.
- Quelque soit les résultats, cette formule pose la question de sa signification biologique.

### 3.2.2.3.5. Méthode de la charte de croissance

Cette méthode proposée par Lenko (60) en 1979 est basée sur l'hypothèse que le **SD score** (valeur moyenne / écart-type) est constant tout au long de l'adolescence et à l'âge adulte. Ce principe a été repris par Sato et al (84) qui l'ont appliqué à l'âge chronologique et à l'âge osseux-TW2. Leurs résultats indiquent que cette méthode est utilisable pour prévoir la taille staturale adulte des enfants de petite taille présentant un retard de croissance. C'est la « méthode de la taille projetée ».

$$\text{Longueur finale estimée} = \text{longueur finale moyenne} \times \text{SD (de la longueur actuelle)}$$

Au niveau de la face, Sato et al (84) ont établi des courbes de croissance moyennes en vue de prévoir la longueur mandibulaire adulte. Ils ont obtenu une corrélation de 0.89 entre le **SD score** et l'âge osseux.

Cette méthode permet également d'établir des courbes de croissance moyennes de la mandibule et du maxillaire dont la lecture est rapide et « visuelle » ((fig. 76).

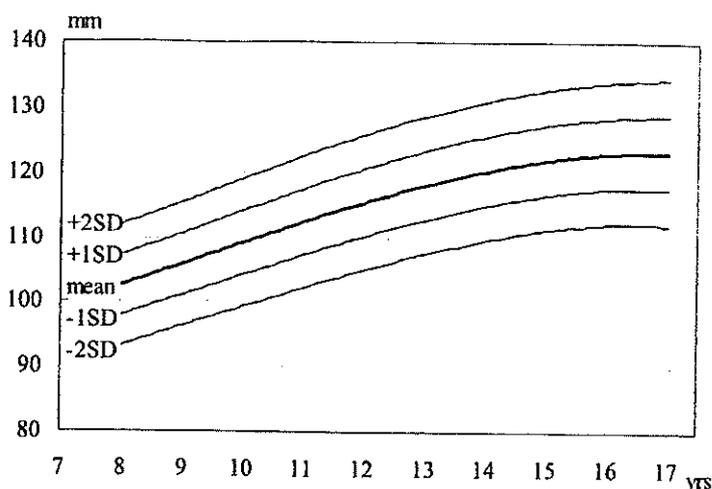


Fig. 76 : Charte de croissance mandibulaire, d'après Sato et al (84).

### 3.2.2.3.6. Conclusion

La figure 77 présente le récapitulatif des différentes méthodes de prévision des dimensions staturales et faciales de l'enfant, en fonction de l'âge osseux.

		Paramètre à estimer	
		Taille staturale	Dimensions faciales
Taille des parents		OUI	X
Evènements d'ossification		OUI	OUI (attention aux erreurs de lecture et d'interprétation)
Potentiel de croissance		OUI	OUI
Pourcentage de croissance		OUI	NON
Régressions multiples	TW2	OUI	NON
Charte de croissance		OUI (enfants de petite taille à maturation retardée)	OUI

**Fig. 77 : Récapitulatif des objectifs visés par les différentes méthodes de prévision des dimensions staturales et faciales de l'enfant (84).**

Sato et al (84) ont évalué la marge d'erreur résultant de l'estimation de la taille adulte du segment Co-Gn (dimension mandibulaire) par les différentes méthodes présentées ci-dessus. Les résultats sont présentés à la figure 78.

Méthode utilisée	Erreur moyenne observée (en mm) L'âge osseux étant évalué par le système TW2-RUS
Evènements d'ossification	3
Potentiel de croissance	2.1
Pourcentage de croissance	2.3
Régression multiple	4.3
Charte de croissance	3.6

**Fig. 78 : Comparaison de la précision obtenue par différentes méthodes de prévision de croissance selon Sato et al (84).**

Les méthodes les plus précises semblent être le potentiel de croissance et le pourcentage de croissance, la marge d'erreur étant du même ordre que celle des analyses céphalométriques couramment utilisées lors du diagnostic orthodontique.

### 3.2.3. Pronostic du potentiel de croissance résiduel

Le potentiel de croissance est défini par Sato (84) comme la quantité de croissance qui sépare la taille actuelle de la taille adulte. Il s'agit donc d'une quantité de croissance à venir. Selon la méthode utilisée, il est calculé directement ou il est déduit des estimations précédentes par soustraction.

Le tableau de la figure 79 rassemble les opérations nécessaires pour évaluer la taille adulte en fonction des méthodes utilisées.

#### 3.2.3.1. Estimation de la quantité de croissance résiduelle

Méthode utilisée	Paramètre	Procédure pour obtenir le potentiel de croissance
Taille moyenne des parents	Taille staturale adulte estimée	Taille adulte estimée – Taille actuelle
Pourcentage de croissance	Taille adulte estimée	$(1-\%) \times$ Taille adulte estimée
Potentiel de croissance	Age osseux	Lecture directe de la courbe ( $Y=a.X+b$ )
Régression multiple	Taille adulte estimée	Taille adulte estimée – Taille actuelle
Charte de croissance		Lecture directe de la courbe

Fig. 79 : Récapitulatif des méthodes proposées de potentiel de croissance.

Notons que pour beaucoup d'auteurs, les termes de potentiel de croissance et d'estimation de la taille adulte sont équivalents et employés indifféremment.

#### 3.2.3.2. Les superpositions

Les méthodes de superposition présentent l'avantage de permettre une appréciation simultanée de la quantité et de la direction de croissance à venir.

##### 3.2.3.2.1. Intérêt

Outre l'intérêt pédagogique et intellectuel qu'elles présentent, elles sont utiles pour affiner le diagnostic :

- observer la croissance d'un sujet avant tout traitement
- rechercher une dimension générale de croissance imaginer le devenir facial du patient
- étudier le développement d'une structure en particulier

- étudier la croissance faciale d'un groupe d'enfant afin de déterminer des moyennes statistiques applicables à ce groupe.

Et pour appréhender la thérapeutique :

- déterminer la date optimale de début de traitement
- apprécier la possibilité d'atteindre les objectifs thérapeutiques
- déterminer si la croissance à venir va corriger ou aggraver une malocclusion. Ainsi comme le rappelle Philippe (78), savoir pour un jeune prognathe si la poussée de croissance mandibulaire a déjà eu lieu, a lieu, ou est à venir transforme le pronostic et il sera essentiel de savoir un peu plus tard si la croissance est globalement terminée ou non.

### **3.2.3.2.2. Principes**

La réalisation des superpositions nécessite :

- des clichés standardisés
- la superposition sur une structure de référence reconnue pour sa stabilité
- et très proche de la région à étudier.

Cela conduit à faire plusieurs superpositions afin de mettre en évidence la croissance qui revient à chaque élément.

### **3.2.3.2.3. Discussion**

Ces méthodes appellent quelques remarques (77):

- Les points de repère ne se déplacent pas dans la même direction, et avec la même régularité.
- Le fait de travailler sur des radiographies en deux dimensions ne permet pas d'apprécier complètement l'augmentation de volume au sein d'une structure osseuse, ni de déterminer les composantes antéropostérieure et verticale de la direction de croissance.
- La quantité de croissance est considérée comme constante d'une année sur l'autre (par exemple dans la VTO de Ricketts, le segment Pt-Gn augmente de 1,5 mm par an).
- En terme de croissance, l'anomalie est définie lorsque l'écart entre le paramètre étudié et la valeur moyenne dépasse deux écart-types ( $\pm 2DS$ ). En terme de maturation, elle est définie au-delà de deux années civiles. Dans une population dont la distribution suit la loi normale, 95,5% des cas sont contenus dans la zone de « normalité » statistique. Cette définition de la normalité statistique ne correspond pas à la clinique quotidienne puisque les sujets porteurs d'une anomalie représentent plus de 4,5% de la population orthodontique.
- Enfin, les méthodes de superposition, qui reflètent chacune les conceptions de la croissance de leurs auteurs, sont parfois focalisées sur la face osseuse et prennent peu en compte les structures environnantes (base du crâne, voûte, rachis cervical) et la croissance totale.

### 3.2.4. Conclusion

Le pronostic est la clé de voûte de la démarche intellectuelle que le praticien effectue pour chaque patient. Il permet d'articuler les éléments du diagnostic avec les objectifs thérapeutiques et de faire en sorte que l'ensemble soit cohérent. Il conditionne donc le plan de traitement (48). Ceci est d'autant plus nécessaire si l'enfant présente une dysmorphie squelettique. Sans index fiable pour estimer le potentiel de croissance mandibulaire, on ne peut pas pronostiquer le risque de rechute d'une malocclusion, notamment d'un cl. III squelettique (84). La démarche pronostique apporte donc les éléments nécessaires pour une décision thérapeutique cohérente et fondée sur des critères scientifiques. Elle semble d'autant plus essentielle dans la gestion clinique des enfants présentant des troubles de croissance (26).

Eléments recherchés		Moyens					
		Taille des parents	Evènements d'ossification	Potentiel de croissance	Pourcentage de croissance	Régressions multiples (TV)	Charte de croissance
Taille adulte	Taille staturale	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI (enfants de petite taille à maturation retardée)
	Dimensions faciales	X	OUI (attention aux erreurs de lecture et d'interprétation)	OUI	NON	NON	OUI
Potentiel de croissance	Quantité de croissance à venir	Méthode utilisée	Paramètre		Procédure pour obtenir le potentiel de croissance		
		Taille moyenne des parents	Taille staturale adulte estimée		Taille adulte estimée – Taille actuelle		
		Pourcentage de croissance	Taille adulte estimée		(1-%) x Taille adulte estimée		
		Potentiel de croissance	Age osseux		Lecture directe de la courbe ( $Y=aX+b$ )		
		Régression multiple	Taille adulte estimée		Taille adulte estimée – Taille actuelle		
		Charte de croissance			Lecture directe de la courbe		
	Direction de croissance à venir	Prévision archiale de Ricketts					
	VTO de Ricketts...						

Fig. 80 : Récapitulatif des procédés pronostiques.

### 3.3. Application thérapeutique

Les décisions cliniques concernant l'utilisation de tel ou tel appareillage ou l'extraction/non extraction reposent entre autres sur des considérations de croissance générale appliquée au patient et sur l'expérience personnelle du praticien (Moore, 73). La synthèse du diagnostic et du pronostic fournit des clés permettant de définir les objectifs de traitement, l'âge de début de traitement et les moyens adéquats pour satisfaire à ces objectifs. Pour Sizonenko (*in* 82) « le traitement orthodontique se prescrira en fonction du seul capital restant de la maturation squelettique ».

En un mot, le potentiel de croissance conditionne le plan de traitement (48).

#### 3.3.1. Objectifs de traitement

Dans le traitement des CI II, la croissance mandibulaire favorable joue une part significative dans la correction d'anomalies occlusales et les indicateurs de maturation osseuse sont d'une grande valeur (42).

Dans les CI III, ces indicateurs sont aussi importants puisque la prognathie est liée à l'amplitude de croissance mandibulaire (42). Le traitement dans son ensemble visera à éviter toute rechute de l'articulé incisif (71).

De même, la décision d'extraire une ou plusieurs dents peut être faite de manière plus rationnelle si elle fait suite à l'estimation du potentiel de croissance (28).

#### 3.3.2. Début du traitement

Pour Bonnefont et al (15), Salagnac et Delaire (82) «il apparaît inutile de baser le choix du moment de traitement sur l'examen de la croissance staturale. Les travaux de Björk sont utiles pour situer un patient sur sa courbe de croissance staturale mais pas sur sa courbe de croissance faciale».

Cet avis est partagé par Salagnac et Delaire (82) exception faite des enfants qui présentent :

- Une dysmorphie faciale
- Une croissance retardée
- Une dentition retardée

Et chez qui l'évaluation du niveau réellement atteint de maturation squelettique est primordiale.

La libération d'hormones endocrines étant maximale au moment du pic pubertaire (Burstone, *in* 15), les tissus répondent plus rapidement aux forces orthodontiques. Tous les auteurs s'accordent donc à reconnaître que le stade de maturation osseuse de l'enfant a une influence sur le résultat du traitement. Cependant les avis divergent sur l'importance à donner à cette relation. Certains estiment que cette influence est grande (Björk, Hagg et Pancherz, Bergersen, Fishman, Grave,...) et d'autres non (Linder-Aronson, Jamison, Smith, Houston, Stockli,... *in* 15).

La puberté étant chronologiquement plus précoce chez la fille, la prise en charge orthopédique sera plus précoce. Pour Château (20), « l'orthopédie peut s'étendre jusqu'à 14 ans chez la fille ».

Cependant cette notion est trop vague pour permettre un traitement adapté tenant compte des particularités de chaque individu.

Il est souhaitable pour Bonnefont et al (15) que le traitement orthopédique des CI II débute au moment où la croissance faciale est la plus importante. Bien que la thérapeutique soit envisageable à d'autres moments (42), de nombreux auteurs s'accordent à reconnaître que le traitement doit commencer avant le pic pubertaire afin de profiter de la période de croissance rapide de l'enfant (Cohen, Petrovic, *in* 15; Franchi, 36; Kopecky, 55; Grave, 42). Cependant, la période post-pic n'est pas à négliger non plus (Bishara et al, Woodside, Sinclair et Little, Love et al, *in* 15). Certains auteurs préconisent ainsi de partager le traitement en deux phases (Cohen, Hagg et Panchez, Panchez, Malmgren et al, *in* 15) :

- Une première phase (orthopédique) où la croissance est l'élément majeur de la thérapeutique.
- Une deuxième phase (orthodontique) où la croissance est plus faible et ne met pas en péril l'équilibre squelettique, tout en permettant l'alignement des dents sur leurs bases osseuses.

Langlade (*in* 15) estime qu'il faudrait traiter les patients dont la mandibule effectue une croissance postérieure après la poussée pubertaire afin de minimiser son impact sur le nouvel état d'équilibre atteint par la thérapeutique.

Pour Panchez cité par Baccetti (9), le pic pubertaire est un repère essentiel à prendre en compte dans la chronologie du traitement car il permet à la thérapeutique un effet maximal pour un minimum de contention. Il évite de ce fait les problèmes de management des traitements initiés précocement (42).

Pour Franchi (36), il a été montré que les plus grands effets des thérapeutiques fonctionnelles ont lieu quand le pic pubertaire est inclus dans la période de traitement. Selon l'étude clinique de Hagg et Panchez (46), la croissance sagittale du condyle pendant le pic est le double de celle observée 3 ans avant ou 3 ans après le pic.

Pour Fishman (30), ni l'âge civil ni l'âge dentaire ne présentent suffisamment de corrélation avec le niveau de maturation individuelle. Les généralités telles que « les filles commencent leur croissance à 10 ans, voient leur pic pubertaire à 12 ans et finissent leur croissance pubertaire à 14 ans » sont trop imprécises pour guider la planification d'un plan de traitement adapté à l'individu et risquent plutôt de le conduire à l'échec (32). Seule l'évaluation du niveau individuel de maturation permet de définir une chronologie adaptée à chaque patient. C'est le but des dernières études sur l'évaluation du niveau de maturation osseuse (notamment cervicale) qui devraient permettre de rationaliser l'emploi des thérapeutiques orthopédiques et/ou fonctionnelles, selon l'état de maturation de l'enfant.

En aucun cas le traitement ne semble devoir se terminer avant le pic pubertaire, sinon le risque de récurrence serait plus élevé (par exemple une rotation faciale antérieure qui se prolongerait après la fin du traitement pourrait entraîner la récurrence d'une supraclusion). Toutefois ce risque diminue si l'on a obtenu une bonne intercuspidation et une bonne coopération dans le port du positionneur (20). Autant la période du pic est favorable à la thérapeutique, autant elle est défavorable à la contention qui risque, à cette période, de faire réapparaître un décalage dento-squelettique. De plus la durée de la phase de contention est liée à la coopération de l'enfant. Le fait de débiter le traitement pendant la phase pré-pubertaire de croissance permet de réduire la durée de la phase de contention (42).

Enfin Jamison et al (*in* 15) rappellent que la courbe de croissance ne constitue qu'un élément décisionnel parmi d'autres et qu'il convient de rester prudent dans l'établissement d'un plan de traitement d'une dysmorphie antéro-postérieure dont le traitement débutera pendant la période pré-pubertaire.

Björk a tenté de schématiser le raisonnement nécessaire à la planification du traitement orthodontique. Il définit quatre périodes distinctes chez l'enfant (cf. fig. 81) :

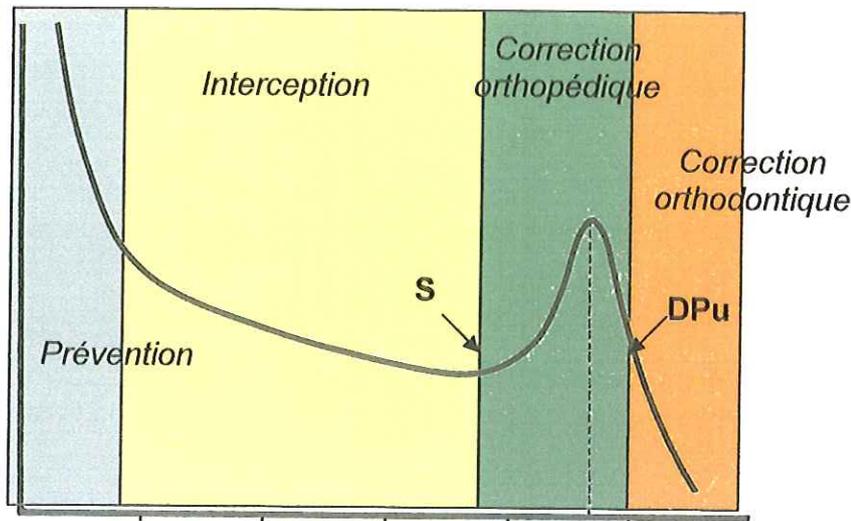


Fig. 81 : Périodes de traitement selon Björk, (in Bonnefont et al, 15).

- La **période infantile** où l'accent est mis sur la **PREVENTION** : par le contrôle des habitudes fonctionnelles (succion, déformations, dysfonctions ventilatoires, interposition linguale, ...).
- La **période juvénile** où la croissance reste à peu près constante. Le traitement est ici **INTERCEPTIF** et doit permettre d'établir les conditions nécessaires à une croissance faciale optimale.
- La **période adolescente ou PUBERTAIRE**. Elle débute (selon Björk) avec l'apparition du sésamoïde (S) et se termine une fois l'ossification épiphysio-diaphysaire de l'articulation métacarpo-phalangienne du médium terminée (DP3u). C'est la période idéale pour commencer un traitement orthopédique.
- La **période POST-PUBERTAIRE**. Elle fait suite à la précédente jusqu'à la fin de la croissance représentée par la fusion épiphysio-diaphysaire du Radius (Ru). La croissance de la face est considérée comme terminée, à l'exception de la mandibule dont la croissance se poursuit à un rythme lent permettant par exemple l'amélioration secondaire d'un encombrement.

La soudure radiale de fin de croissance est un indicateur précieux permettant en clinique quotidienne :

- d'apprécier la « frontière » entre puberté et âge adulte, et donc :
- d'évaluer la durée nécessaire de contention
- de programmer une chirurgie orthognatique si besoin est.

La possession d'un indicateur fiable détectant les périodes de croissance pubertaire de la mandibule est un outil crucial de diagnostic permettant un traitement rationnel (donc planifié) des CI II d'origine mandibulaire. Cet outil est également utile pour détecter les périodes de croissance réduite nécessaires à la mise en œuvre d'une chirurgie orthognatique (Baccetti, 8).

Le choix du moment opportun de début de traitement conditionne le choix des moyens de traitement (et réciproquement) en fonction des objectifs à atteindre.

### 3.3.3. Choix des moyens de traitement

D'une manière générale et pour des objectifs de traitement comparables, les moyens mis en œuvre ne seront pas les mêmes selon le niveau de maturation atteint par l'enfant au moment de sa première consultation, c'est-à-dire au début de sa prise en charge orthodontique.

#### 3.3.3.1. Appareillages orthopédiques

Les appareillages orthopédiques n'auront d'effet que chez les patients qui ont un potentiel de croissance (Garcia-Fernandez, 37) et cet effet sera proportionnel à la quantité de croissance résiduelle.

Ceci dit, il est intéressant de connaître le potentiel de croissance de tel ou tel appareillage en fonction de la période d'utilisation. Malheureusement, les travaux de la littérature manquent là encore d'uniformité pour permettre des comparaisons. Ainsi Baccetti et Franchi (9) ont récemment étudié les appareillages de correction orthopédique des CI II squelettiques et particulièrement le Twin-Block qui est indiqué dans la correction des CI II squelettiques par rétro-mandibulie. Son objectif, comme toute thérapeutique fonctionnelle, est d'induire un allongement mandibulaire en stimulant la croissance du condyle (36). Dans leur étude (9), ils rassemblent les résultats des travaux de la littérature concernant ces appareillages et observent :

- Que l'échantillonnage n'est classé qu'en fonction de l'âge squelettique des enfants, sans aucune estimation du niveau de maturation osseuse, bien qu'il s'agisse ici d'évaluer l'efficacité d'un appareillage à stimuler la croissance osseuse, qui dépend directement du potentiel de croissance effectif.
- Qu'il n'est pas fait mention du pic de croissance, ce qui ne permet pas d'estimer le potentiel de croissance en question ni de situer l'enfant par rapport à ce dernier.
- Que les résultats concernant l'allongement produit par la thérapeutique diffèrent d'une étude à l'autre (9), (ce qui n'est pas étonnant puisque les échantillons et toute la méthodologie qui leur est appliquée diffèrent singulièrement) :
  - Ainsi Lund et Sandler (*in* 9) voient le segment Ar-Pog s'accroître de 2,6mm par an.
  - Mills et Culloch (*in* 9) voient le segment Co-Gn s'accroître de 4,2mm en 14 mois (3,6mm par an).
  - Toth et Mc Namara (*in* 9) voient le segment Co-Gn s'accroître de 3mm en 16 mois (2,25mm par an).
  - Baccetti et Franchi (9) voient le segment Co-Pog s'accroître de 1,9 mm et 4,8 mm respectivement chez les enfants à faible maturité et à forte maturité.

Outre l'allongement potentiel, la différence majeure réside dans le fait que Baccetti et Franchi (9) classent les enfants selon leur niveau de maturation osseuse estimé par analyse de l'âge osseux vertébral selon Lamparski. Ils déterminent deux catégories dans chacun des deux groupes principaux (groupe appareillé et groupe contrôle) : les enfants dont la maturité les place avant le pic de croissance pubertaire (stades 1 à 3 de Lamparski), et les enfants qui atteignent le pic ou l'ont dépassé (stades 4 à 6).

Cette distinction permet de comparer ces deux sous-groupes entre eux sans tenir compte d'un éventuel retard ou d'une avance de maturation. Ainsi on observe dans les deux cas l'augmentation du segment Co-Pog par ouverture de l'angle mandibulaire. En revanche, on observe chez les enfants traités pendant la période du pic :

- Une quantité de croissance supérieure
- Une réponse mandibulaire différente : la mandibule change de forme avec :
  - Un allongement significatif du Ramus (Co-Go s'accroît de plus de 2mm)
  - Un allongement significatif du Corpus (Go-Pog s'accroît de plus de 1,5mm)
  - Une ouverture de l'angle goniale (dans les deux sous-groupes)
  - Une rotation postérieure de l'axe condylien par rapport à la ligne mandibulaire, sans déplacement antérieur du condyle.

Ainsi le maximum d'efficacité ne sera obtenu d'un appareillage que si son application est corrélée aux périodes de forte croissance maxillaire et mandibulaire, tout en tenant compte des objectifs du traitement (30).

### 3.3.3.2. Système de contention

Il va sans dire que l'importance du système de contention est d'autant plus manifeste que la croissance à venir de l'enfant est conséquente. Le fait de pronostiquer la croissance à venir permet d'apprécier l'importance qu'aura le système de contention dans la réussite du traitement orthodontique et d'en adapter la chronologie.

## 3.4. Application à la recherche clinique

La revue des différentes études qui constituent notre bibliographie révèle une multiplicité de protocoles cliniques.

La majorité des articles ont été écrits à une époque où les contraintes liées au traitement statistique des données étaient faibles (beaucoup d'études présentent uniquement un *test de t de Student* pour tester une corrélation entre deux paramètres biologiques). Les progrès en mathématiques statistiques et notamment en statistiques inférentielles font que ces mêmes articles sont aujourd'hui sujets à la critique et leurs conclusions remises en cause.

A titre d'exemple, et comme nous venons de le voir, les études s'interrogeant sur le meilleur moment de traitement des CI souffrent trop souvent d'une référence systématique à l'âge chronologique ou à l'âge dentaire, notamment dans le recrutement et la détermination des groupes de test. Cette imprécision clinique aboutit à une marge d'erreur statistique non

négligeable qui diminue la précision de la méthode quelle qu'elle soit et du même fait son intérêt clinique.

Cette référence est la conséquence d'un long héritage scientifique. Cependant, cette préférence pour l'âge chronologique n'est plus justifiée aujourd'hui eu égard aux récents travaux publiés qui ouvrent de nouvelles perspectives. Ainsi, pour faire suite à l'exemple précédent, une référence et un classement des enfants selon leur âge osseux permettent de pouvoir comparer plusieurs groupes d'enfants entre eux, et ce d'une étude à l'autre, comme l'ont montré Baccetti et al (9).

Toutes ces interrogations et ces nouvelles méthodes statistiques renforcent la nécessité d'aboutir à un consensus dans la méthodologie des recherches cliniques. Cependant, aucun consensus ne semble aujourd'hui encore exister quant à :

- L'échantillon de référence :
  - La taille de l'échantillon (le minimum nécessaire varie selon les tests statistiques que l'on prévoit d'effectuer).
  - Le choix de l'échantillon :
    - Quels sont les critères de recrutement et de classement (âge civil ou âge osseux, ...)
    - Quelle part doit-on donner aux porteurs de dysmorphie squelettique ?
    - Est-il représentatif de la population générale du pays, ou d'une région ?
- La méthodologie des mesures :
  - Quelles mesures effectuer ? Quelles sont celles qui ont la plus grande valeur biologique ? Par exemple, la longueur mandibulaire est évaluée dans la littérature par les suivantes : Ar-Pog, Co-Pog, Co-Gn, ... Laquelle de ces mesures a la plus grande valeur biologique ? Si aucune n'est supérieure aux autres, la co-existence d'un grand nombre de critères et le choix hasardeux de l'un ou de l'autre crée une diversité qui s'oppose à la comparaison des groupes d'une étude à l'autre.
  - Comment les effectuer :
    - Quel matériel ?
    - Quelle périodicité ? (annuelle, semestrielle, trimestrielle ?)
- Le traitement statistique des données recueillies : quelles formules ?

Il va sans dire que le lecteur se doit d'être vigilant quant aux résultats énoncés dans les publications et à leurs éventuelles conséquences cliniques.

## CONCLUSION

Cette revue de la littérature nous a permis de mieux comprendre les interrelations entre croissance physiologique et maturation squelettique d'une part, entre croissance faciale et croissance staturale d'autre part. Il en ressort qu'à l'exception de quelques auteurs, la croissance faciale semble pouvoir être appréhendée par l'étude de la maturation osseuse corporelle. La connaissance du modèle de développement de chaque individu paraît essentielle pour le praticien soucieux d'individualiser son diagnostic, son pronostic, et sa thérapeutique. Nous avons également pu dresser la liste (non exhaustive) des moyens de détermination du niveau atteint de maturation. Parmi ces indicateurs, l'âge osseux semble le plus adéquat pour l'orthopédiste. Ses méthodes d'évaluation sont multiples et ne cessent d'être affinées. A ce sujet, ce travail appelle deux remarques :

Tout d'abord, ces techniques nous permettent de nous intéresser à la maturation de l'enfant : nous pouvons ainsi tenter de situer objectivement l'enfant sur sa courbe individuelle de croissance pour mieux pronostiquer la croissance à venir dans le seul but de définir au mieux le moment de traitement. Car, si certaines malocclusions s'améliorent avec la croissance, gardons à l'esprit que d'autres s'aggravent si rien n'est fait. Il paraît donc judicieux de prendre en compte les résultats fournis par cet examen complémentaire qu'est l'évaluation de la maturation osseuse, au même titre que sont intégrés au diagnostic les résultats d'une analyse céphalométrique.

En revanche, l'analyse de la littérature à la lumière des progrès récents de la biostatistique révèle qu'un bon nombre de méthodologies voient leurs critères ne plus correspondre aux données actuelles de la science, notamment les critères de significativité statistique et clinique dont on connaît l'importance et la portée.

Cette situation nous incite à penser qu'une uniformisation des protocoles de recherche serait souhaitable car elle permettrait de pouvoir comparer les études entre elles, ce qui n'est guère possible à l'heure actuelle.

On peut également espérer que le développement de l'imagerie tridimensionnelle et des nouveaux modèles mathématiques pourra parfaire les techniques bidimensionnelles existantes tout en augmentant leur précision.

Cette revue des différentes méthodes d'évaluation du niveau de maturation osseuse atteint par l'enfant a également tenté de montrer :

- Qu'il n'existe pas de méthode « universelle » qui surpasse les autres. Elles ont toutes leurs avantages et leurs inconvénients, et c'est en déclinant plusieurs indicateurs biologiques de maturation que l'évaluation s'affinera au fur et à mesure de l'expérience clinique. Il faut également tenir compte de l'opérateur et de ses propres goûts. Il est en effet important que celui-ci utilise une méthode avec laquelle il se sente familier. Dans tous les cas, l'évaluation du niveau de maturation atteint doit permettre « quelque soit la méthode d'évaluation d'orienter un diagnostic, d'estimer le retentissement d'une maladie sur le développement, de suivre l'effet d'un traitement, et de porter un pronostic de taille adulte » (Sizonenko, *in* 15).

- Que la littérature est habituée à utiliser les radiographies de la main comme technique de référence pour des raisons plus historiques que scientifiques. Les travaux les plus récents semblent indiquer que l'étude des vertèbres cervicales (par les techniques les plus récentes) fournit des résultats tout aussi précis et fiables. Or, les vertèbres cervicales ont également l'avantage non négligeable d'être incluses dans les documents diagnostiques rassemblés par l'orthodontiste, ce qui évite tout surcroît d'irradiation à l'enfant.

Si la prudence est de rigueur quant aux conclusions à dresser, ces techniques ne nous semblent pas devoir être mises à l'index sous peine de priver le praticien d'un repère nécessaire à une démarche diagnostique, pronostique, et thérapeutique exhaustive.

Il ne fait aucun doute que la croissance est un paramètre essentiel dans l'équation du succès thérapeutique. Comme le souligne R. M. Ricketts, l'orthopédiste doit « prendre avantage de la croissance », ce qui implique de connaître ses caractéristiques (à savoir son intensité, sa direction, et son rythme) s'il veut devenir ce que Kopecky appelle un « médiateur des processus de croissance ».

- 1 ABDEL-KADER HM.**  
The reliability of dental x-ray film in assessment of MP3 stages of the pubertal growth spurt.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1998;**114**(4):427-429.
- 2 ABDEL-KADER HM.**  
The potential of digital dental radiography in recording the adductor sesamoid and the MP3 stages.  
Br J Orthod 1999;**26**(4):291-294.
- 3 AICARDI G, VIGNOLO M, MILANI S et coll.**  
Assessment of skeletal maturity of the hand-wrist and knee: A comparison among methods.  
Am J Human Biol 2000;**12**(5):610-615.
- 4 AKI T, NANDA RS, CURRIER GF et coll.**  
Assessment of symphysis morphology as a predictor of the direction of mandibular growth.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1994;**106**(1):60-69.
- 5 ALTOUNIAN G.**  
La radiographie du poignet en ODF, un luxe ou une nécessité ?  
Inf Dent 1973;**38**:25-29.
- 6 ARAT M, KOKLU A, OZDILER E et coll.**  
Craniofacial growth and skeletal maturation: a mixed longitudinal study.  
Eur J Orthod 2001;**23**(4):355-361.
- 7 BACETTI T, FRANCHI L et McNAMARA JA Jr.**  
An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth.  
Angle Orthod 2002;**72**(4):316-323.
- 8 BACETTI T, FRANCHI L et McNAMARA JA Jr.**  
The cervical vertebral maturation method: some need for clarification.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2003;**123**(1):19A-20A.
- 9 BACETTI T, FRANCHI L, RATNER-TOTH L et coll.**  
Treatment timing for Twin-block therapy.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2000;**118**(2):159-170.
- 10 BENSO L, VANELLI S, PASTORIN L et coll.**  
Variation of bone age progression in healthy children.  
Acta Paediatr Suppl 1997;**423**:109-112.
- 11 BERGERSEN EO.**  
The male adolescent facial growth spurt: its prediction and relation to skeletal maturation.  
Angle Orthod 1972;**42**(4):319-338.
- 12 BERST MJ, DOLAN L, BOGNANOWICZ MM et coll.**  
Effect of knowledge of chronologic age on the variability of paediatric bone age determined using Greulich and Pyle standards.  
Am J Roentgenol 2001;**176**:507-510.
- 13 BJORK A.**  
Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation.  
Trans Eur Orthod Soc 1972;**48**:61-74.
- 14 BJORK A et HELM S.**  
Prediction of the age of maximum pubertal growth in body height.  
Angle Orthod 1967;**37**(2):134-143.

- 15 BONNEFONT R, BONNAURE-MALET M, GUYOMARD F et coll.**  
A propos des rythmes de croissance staturale et faciale.  
Rapport de la 68<sup>e</sup> session.  
Orthod Fr 1995;**66**:1-247.
- 16 BOWDEN BD.**  
Epiphysial changes in the hand/wrist area as indicators of adolescent stage.  
Aust Orthod J 1976;**4**(3):87-104.
- 17 BUSCHANG PH et GANDINI Jr LG.**  
Mandibular skeletal growth and modelling between 10 and 15 years of age.  
Eur J Orthod 2002;**24**(1):69-79.
- 18 CANOVAS F, JAEGER M, DIMEGLIO A et coll.**  
L'évaluation de la maturation des os du carpe par analyse d'image :  
une alternative à l'âge osseux ou un outil complémentaire ?  
Arch Pediatr 2000;**7**(9):976-981.
- 19 CHAPMAN SM.**  
Ossification of the adductor sesamoid and the adolescent growth spurt.  
Angle Orthod 1972;**42**(3):236-244.
- 20 CHATEAU M.**  
Orthopédie dento-faciale. Tome 1 : bases fondamentales.  
Paris : J.Prélat, 1975.
- 21 CHEN SYY, LESTREL PE, KERR WJS et coll.**  
Describing shape changes in the human mandible using elliptical Fourier functions.  
Eur J Orthod 2000;**22**:205-216.
- 22 COUTINHO S, BUSCHANG PH et MIRANDA F.**  
Relationships between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1993;**104**(3):262-268.
- 23 COX LA.**  
The biology of bone maturation and ageing.  
Acta Paediatr Suppl 1997;**423**:107-108.
- 24 D'ARCY WENTWORTH THOMPSON.**  
On growth and form.  
Cambridge University Press, 1961. Traduction française : Forme et croissance.  
Paris : Seuil, 1994.
- 25 DEMIRJIAN A, GOLDSTEIN H et TANNER JM.**  
A new system of dental assessment.  
Hum Biol 1973;**45**:211-227.
- 26 DEMIRJIAN A, GOLDSTEIN H et TANNER JM.**  
Interrelationships among measure of somatic, skeletal, dental and sexual maturity.  
Am J Orthod 1985;**88**:433-438.
- 27 DEPLAGNE MH.**  
Radiographie du poignet et âge osseux entre 5 et 11 ans.  
Orthod Fr 1962;**33**:83-94.
- 28 DRAYER NM.**  
Clinical usefulness of bone age determination in the management of tall stature.  
Acta Paediatr Suppl 1997;**423**:115-116.

- 29 EL-BIALY T, ABOUL-AZM SF et EL-SAKHAWY M.**  
Study of craniofacial morphology and skeletal maturation in juvenile diabetics (Type I).  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2000;**118**(2):189-195.
- 30 FISHMAN LS.**  
Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth.  
Angle Orthod 1979;**49**(3):181-189.
- 31 FISHMAN LS.**  
Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films.  
Angle Orthod 1982;**52**(2):88-112.
- 32 FISHMAN LS.**  
Maturational patterns and prediction during adolescence.  
Angle Orthod 1987;**57**(3):178-193.
- 33 FISHMAN LS.**  
Can cephalometric x-rays of the cervical column be used instead of hand-wrist x-rays to determine patient's maturational age?  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2002;**122**(1):18A-19A.
- 34 FLORES-MIR C, NEBBE B et MAJOR PW.**  
Use of skeletal maturation based on hand-wrist radiographic analysis as a predictor of facial growth : a systematic review.  
Angle Orthod 2004;**74**:118-124.
- 35 FRANCHI L, BACCETTI T et McNAMARA JA Jr.**  
Thin-plate spline analysis of mandibular growth.  
Angle Orthod 2001;**71**(2):83-89.
- 36 FRANCHI L, BACCETTI T et McNAMARA JA Jr.**  
Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2000;**118**(3):335-340.
- 37 GARCIA-FERNANDEZ P, TORRE H, FLORES L et coll.**  
The cervical vertebrae as maturational indicators.  
J Clin Orthod 1998;**32**(4):221-225.
- 38 GOTO S, KONDO T, NEGORO T et coll.**  
Ossification of the distal phalanx of the first digit as a maturity indicator for initiation of orthodontic treatment of class III malocclusion in Japanese women.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1996;**110**(3):490-501.
- 39 GRAVE K.**  
The use of the hand and wrist radiograph in skeletal age assessment; and why skeletal age assessment is important.  
Aust Orthod J 1994;**13**(3):196.
- 40 GRAVE K et TOWNSEND G.**  
Cervical vertebral maturation as a predictor of the adolescent growth spurt.  
Aust Orthod J 2003;**19**(1):25-32.
- 41 GRAVE KC.**  
Timing of facial growth: a study of relations with stature and ossification in the hand around puberty.  
Aust Orthod J 1973;**3**(4):117-122.

- 42 GRAVE KC.**  
Physiological indicators in orthodontic diagnosis and treatment planning.  
Aust Orthod J 1978;5(3):114-122.
- 43 GREULICH WW et PYLE SI.**  
Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. 2° ed.  
Londres: Stanford Press, 1950.
- 44 GRISCOM NT.**  
Effect of knowledge of actual age on bone age determination.  
Am J Roentgenol 2001;177(3):715.
- 45 GROELL R, LINDBICHLER F, RIEPL T et coll.**  
The reliability of bone age determination in central European children using  
the Greulich and Pyle method.  
Br J Radiol 1999;72:461-464.
- 46 HAGG U et PANCHERZ H.**  
Dentofacial orthopaedics in relation to chronological age, growth period and skeletal  
development. An analysis of 72 male patients with class II division 1 malocclusion  
treated with the Herbst appliance.  
Eur J Orthod 1988;10:169-176.
- 47 HAGG U et TARANGER J.**  
Maturation indicators and the pubertal growth spurt.  
Am J Orthod 1982;82(4):299-309.
- 48 HASSEL B et FARMAN AG.**  
Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1995;107(1):58-66.
- 49 HOUSTON WJ.**  
Relationships between skeletal maturity estimated from hand-wrist radiographs  
and the timing of the adolescent growth spurt.  
Eur J Orthod 1980;2(2):81-93.
- 50 HUGGARE J.**  
The first cervical vertebra as an indicator of mandibular growth.  
Eur J Orthod 1989;11(1):10-16.
- 51 HUGGARE JA et COOKE MS.**  
Head posture and cervicovertebral anatomy as mandibular growth predictors.  
Eur J Orthod 1994;16(3):175-180.
- 52 HUNTER CJ.**  
The correlation of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence.  
Angle Orthod 1966;36(1):44-54.
- 53 KARLSEN AT.**  
Association between vertical development of the cervical spine and the face  
in subjects with varying vertical facial patterns.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2004;125:597-606.
- 54 KASAI T, IKATA T, KATOH S et coll.**  
Growth of the cervical spine with special reference to its lordosis and mobility.  
Spine 1996;21(18):2067-2073.
- 55 KOPECKY GR et FISHMAN LS.**  
Timing of cervical headgear treatment based on skeletal maturation.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1993;104(2):162-169.

- 56 KOZIEL S.**  
Relationships among tempo of maturation, midparent height, and growth in height of adolescent boys and girls.  
Am J Human Biol 2001;**13**(1):15-22.
- 57 KRAILASSIRI S, ANUWONGNUKROH N et DECHKUNAKORN S.**  
Relationships between dental calcification stages and skeletal maturity indicators in Thai individuals.  
Angle Orthod 2002;**72**(2):155-166.
- 58 KUCUKKELES N, ACAR A, BIREN S et coll.**  
Comparisons between cervical vertebrae and hand-wrist maturation for the assessment of skeletal maturity.  
J Clin Pediatr Dent 1999;**24**(1):47-52.
- 59 LEITE HR, O'REILLY MT et CLOSE JM.**  
Skeletal age assessment using the first, second, and third fingers of the hand.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1987;**92**(6):492-498.
- 60 LENKO HL.**  
Prediction of adult height with various methods in Finnish children.  
Acta Paediatr Scand 1979;**68**:85-92.
- 61 LEWIS AB et ROCHE AF.**  
Late growth changes in the craniofacial skeleton.  
Angle Orthod 1988;**58**(2):127-135.
- 62 LEWIS AB, ROCHE AF et WAGNER B.**  
Growth of the mandible during pubescence.  
Angle Orthod 1982;**52**(4):325-342.
- 63 LEWIS AB, ROCHE AF et WAGNER B.**  
Pubertal spurts in cranial base and mandible. Comparisons within individuals.  
Angle Orthod 1985;**55**(1):17-30.
- 64 LOREILLE JP.**  
Les rythmes de croissance du jeune enfant : acquisitions récentes.  
Orthod Fr 1994;**65**:507-520.
- 65 LOREILLE JP.**  
Croissance générale de l'enfant.  
Encycl Méd Chir (Paris), Stomatologie et odontologie II, 23-450-A-10, 1996, **10**.
- 66 MADHU S, HEGDE AM et MUNSHI AK.**  
The developmental stages of the middle phalanx of the third finger (MP3): a sole indicator in assessing the skeletal maturity?  
J Clin Pediatr Dent 2003;**27**(2):149-156.
- 67 MAINLAND D.**  
Evaluation of the skeletal age method of estimating children's development. II. Variable errors in the assessment of roentgenograms.  
Pediatrics 1954;**13**(2):165-173.
- 68 MAUCHAMP O et NANDA SK.**  
Prédiction de la quantité de croissance en fonction de l'âge biologique.  
Rev Orthop Dento Faciale 1975;**9**(1):47-72.
- 69 MITANI H, SATO K et SUGAWARA J.**  
Growth of mandibular prognathism after pubertal growth peak.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1993;**104**(4):330-336.

- 70 MITANI H et SATO K.**  
Comparison of mandibular growth with other variables during puberty.  
Angle Orthod 1992;**62**(3):217-222.
- 71 MITO T, SATO K et MITANI H.**  
Cervical vertebral bone age in girls.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2002;**122**(4):380-385.
- 72 MITO T, SATO K et MITANI H.**  
Predicting mandibular growth potential with cervical vertebral bone age.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2003;**124**:173-177.
- 73 MOORE RN, MOYER BA et DU BOIS LM.**  
Skeletal maturation and craniofacial growth.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 1990;**98**(1):33-40.
- 74 MURATA M.**  
Population-specific reference values for bone age.  
Acta Paediatr Suppl 1997;**423**:113-114.
- 75 OESTREICH AE.**  
Tanner-Whitehouse versus Greulich-Pyle in bone age determinations.  
J Pediatr 1997;**131**:5-6.
- 76 O'REILLY MT et YANNIELLO GJ.**  
Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae - A longitudinal cephalometric study.  
Angle Orthod 1988;**58**(2):179-184.
- 77 PELOSSE JJ.**  
Relations entre denture mixte, équilibre musculaire et âges biologiques.  
Orthod Fr 2001;**72**: 55-60.
- 78 PHILIPPE J.**  
Orthodontie. Des principes et une technique.  
Paris : Julien Prélat, 1972.
- 79 PUNTER JM.**  
Dictionnaire des termes et techniques de radiologie conventionnelle.  
Paris : Springer-Verlag, 2002.
- 80 RAJAGOPAL R et KANSAL S.**  
A comparison of modified MP3 stages and the cervical vertebrae as growth indicators.  
J Clin Orthod 2002;**36**(7):398-406.
- 81 ROHR J.**  
De la détermination radiologique de l'âge osseux en orthodontie.  
Rev Orthop Dento Faciale 1971;**5**:57-66.
- 82 SALAGNAC JM et DELAIRE J.**  
Prévision de croissance et orthopédie dento-faciale. Intérêts et fiabilités des superpositions ?  
Rev Stomatol Chir Maxillofac 2002;**103**(4):221-232.
- 83 SAN ROMAN P, PALMA JC, OTEO MD et coll.**  
Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development.  
Eur J Orthod 2002;**24**(3):303-311.
- 84 SATO K, MITO T et MITANI H.**  
An accurate method of predicting mandibular growth potential based on bone maturity.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2001;**120**(3):286-293.

- 85 SAUVEGRAIN J, NAHUM H et BRONSTEIN H.**  
Etude de la maturation osseuse du coude.  
Ann Radiol 1962;**5**:535-550.
- 86 SEMPE M.**  
L'analyse de la maturation squelettique.  
Paris : INSERM-Doin, 1986.
- 87 SEMPE M et PAVIA C.**  
Atlas de maturation squelettique. Ossification séquentielle du poignet et de la main.  
Paris : SIMEP, 1979.
- 88 SIERRA AM.**  
Assessment of dental and skeletal maturity. A new approach.  
Angle Orthod 1987;**57**(3):194-208.
- 89 SILVEIRA AM, FISHMAN LS, SUBTELNY JD et coll.**  
Facial Growth during adolescence in early, average and late maturers.  
Angle Orthod 1992;**62**(3):185-190.
- 90 SMITH RJ.**  
Misuse of hand-wrist radiographs.  
Am J Orthod 1980;**77**(1):75-78.
- 91 SO LL.**  
Skeletal maturation of the hand and wrist and its correlation with dental development.  
Aust Orthod J 1997;**15**(1):1-9.
- 92 TALMANT J, TALMANT C et DENIAUD J.**  
Ventilation foetale et développement cranio-maxillaire.  
Orthod Fr 2002;**73**:83-107.
- 93 TANNER J, OSHMAN D, BAHHAGE F et coll.**  
Tanner-Whitehouse bone age reference values for North American children.  
J Pediatr 1997;**131**:34-40.
- 94 TANNER JM, HEALY MJR, GOLDSTEIN H et coll.**  
Assessment of skeletal maturity and Prediction of adult height (TW3 Method). 3° ed.  
Philadelphia: W.B Saunders, 2001.
- 95 TANNER JM, WHITEHOUSE RH, MARSHALL WA et coll.**  
Assessment of skeletal maturity and Prediction of adult height (TW2 Method). 2° ed.  
London: Academic Press, 1983.
- 96 TETRADIS S et KANTOR ML.**  
Anomalies of the odontoid process discovered as incidental findings  
on cephalometric radiographs.  
Am J Orthod Dentofac Orthop 2003;**124**:184-189.
- 97 VALLEE-CUSSAC V.**  
Taille et orientation de la mandibule dans un contexte de classe III entre 7 et 30 ans.  
Orthod Fr 1995;**66**:687-698.
- 98 VAN DER BEEK MC, HOEKSMAS JB et PRAHL-ANDERSEN B.**  
Vertical facial growth and statural growth in girls: a longitudinal comparison.  
Eur J Orthod 1996;**18**(6):549-555.

- 99 VIZMANOS B, MARTI-HENNEBERG C, CLIVILLE R et coll.**  
Age of pubertal onset affects the intensity and duration of pubertal growth peak  
but not final height.  
Am J Human Biol 2001;**13**(3):409-416.
- 100 WANG JC, NUCCION SL, FEIGHAN JE et coll.**  
Growth and development of the pediatric cervical spine documented radiographically.  
J Bone Joint Surg Am 2001;**83-A**(8):1212-1218.
- 101 WILLIAMS P, ROBERTS-HARRY D et SANDY J.**  
Orthodontics. Part 7: Fact and fantasy in orthodontics.  
Br Dent J 2004;**196**(3):143-148.

MOREAU (Xavier) – L'évaluation de la maturation osseuse : intérêts en ODF  
 – 148 f., ill., graph., tabl., 30cm.  
 (Thèse : 3° cycle Sci. Odontol. : Nantes : 2005, n° 43 16 05 )

L'évaluation de la maturation osseuse présente-t-elle quelque intérêt pour l'orthodontiste dans sa pratique clinique quotidienne ?  
 La possession d'un témoin du degré de maturation de l'os est un élément précieux du diagnostic orthopédique. Cette recherche du meilleur indicateur biologique est toujours d'actualité. Au cours de ces dernières années, les recherches se sont multipliées, utilisant les procédés bio statistiques les plus récents. Cependant la revue de la littérature révèle une grande hétérogénéité dans la méthodologie employée, interdisant toute comparaison des études entre elles, et invitant à la prudence.  
 Parmi les nombreuses techniques d'évaluation de la maturation osseuse quelques-unes sont compatibles avec la clinique quotidienne, tandis que d'autres sont à réserver à la recherche clinique.  
 L'intérêt pour l'orthodontiste est majeur : la prise en compte du potentiel de croissance participe à l'établissement d'un diagnostic précis afin d'optimiser le moment de traitement de l'enfant et de garantir le succès thérapeutique.

**Rubrique de classement :** Orthopédie Dento-faciale

**Mots-clés :** Orthodontie  
 Orthopédie  
 Croissance  
 Age dentaire  
 Age osseux

**Mesh :** Orthodontics  
 Orthopedics  
 Growth  
 Dental Age  
 Bone age

**Jury :**  
 Président : Madame le Professeur C. FRAYSSE  
 Assesseurs : Monsieur le Professeur W. BOHNE  
 Monsieur le Docteur S. RENAUDIN  
 Monsieur le Docteur J. DENIAUD

**Adresse de l'auteur :** Xavier MOREAU  
 5 Av St Félix  
 44000 NANTES