

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA-BEJAIA



Faculté des Sciences Humaines et Sociales

Département STAPS

Mémoire de fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de master en STAPS

Filière : Activité physique sportive éducative

Spécialité : Activité physique sportive scolaire

Thème :

L'estimation de la maturation biologique des enfants nageurs âgés de 9 à 16ans : approche radiographique et anthropométrique

Réalisé

✚ BRAHMI Lila

Dr.BENOSMANE. A

✚ MAKHLOUF Assia

Année Universitaire : 2023-2024

Remerciements

Louanges à Allah le tout puissant qui nous a donné du courage et de la chance de faire des études.

*On adresse nos remerciements à notre encadreur le docteur **BENOSMANE**, qui nous a constamment Guidé, aidé et encouragé dans ce travail, et aussi pour sa disponibilité et pour avoir mis à notre disposition toutes ses compétences et connaissances et d'avoir cru en nos capacités. Merci monsieur.*

*On remercie également le président du **Club OCB Hamza BABA AISSA** de nous avoir permis de faire cette expérimentation sur ses athlètes et on remercie également les enfants de notre échantillon et leurs parents d'avoir accepté de se prêter à cette étude.*

*On remercie les deux entraîneurs des athlètes **HEDNA Saïd** et **ZAIDI Nassim** qui nous ont également aidés durant notre partie expérimentale.*

*On remercie tous les enseignants de notre département **STAPS** de Bejaïa, qui nous ont formés durant tout notre cursus.*



*- **MAKHOUF A & BRAHMI L***

Dédicaces

A mes chers parents,

*En témoignage de ma gratitude, si grande qu'elle puisse être,
pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon bien être
et le soutien qu'ils m'ont prodigué tout le long de mon
éducation et mon parcours*

*Que dieu, le tout puissant, les préserve et leur procure santé,
longue vie et bonheur*

A mes chers frères,

*Pour leur encouragement, soutien et leur bonté qu'ils m'ont
accordés, j'exprime ma profonde reconnaissance et mon grand
respect*

A mes chers amis,

Mes meilleurs amis, Chanez et Khelifa

*A tous mes amis et collègues que j'ai pu connaître durant mon
parcours*

A ma chère binôme Assia

*A tous les professeurs qui m'ont enseigné tout au long de mon
parcours*

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Je vous dédie ce modeste travail.



- Brahmí Lila

Dédicaces

A mon père et ma mère,

Nulles dédicaces ne peuvent exprimer ce que je leur dois, par leur prière, leur patience, ils ont tous fait pour mon bonheur et ma réussite

Qu'ils veuillent trouver dans ce travail le fruit de leurs sacrifices illimités et la preuve de mon amour et ma gratitude éternelle

A ma sœur et mon frère,

Qui m'ont tant donné de courage pour accomplir cette mission

A mes chers amis,

A ma meilleure amie Katia

A tous mes amis et collègues que j'ai connu durant mon parcours

A ma chère binôme Lila

A tous les professeurs qui m'ont enseigné tout au long de mon parcours

A tous ceux qui m'aiment et que j'aime

Je vous dédie ce modeste travail



- Makhlouf Assia

Sommaire

Partie théorique

Chapitre I

La natation

1. Définition.....	5
2. L'histoire de la natation.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1. La natation durant l'antiquité	Erreur ! Signet non défini.
2.2. La nage comme loisir au moyen âge et à la renaissance	Erreur ! Signet non défini.
2.3. XVIIIe et XXe siècles : la natation comme sport.....	Erreur ! Signet non défini.
2.4. La natation sportive au premier plan	6
2.5. La natation aux jeux olympiques.....	6
3. Règlement de la natation	Erreur ! Signet non défini.
3.1. Nage libre (Crawl).....	7
3.2. SW 6 DOS	8
3.3. Brasse	9
3.4. Papillon.....	11
3.5. Quatre nages	12
3.6. La course.....	12
4. Records du monde	Erreur ! Signet non défini.
5. Les bases théoriques	14
6. Les valeurs sanitaires.....	15
7. Importance de l'initiation à la natation à bas âge	15

Chapitre II

Croissance et maturation biologique

1. Développement.....	17
2. La croissance	17
2.1. Les phases de la croissance	18
2.2. Les types de croissance	19
2.2.1. La croissance du système nerveux.....	19
2.2.2. La croissance du système génitale.....	19
2.2.3. La croissance de la taille et du poids	20
2.2.4. La croissance des compositions du corps	20
2.2.5. La croissance osseuse	20
2.2.5.1. Développement des os (ostéogenèse).....	20
2.2.5.2. Formation du squelette osseux	21
2.2.6. Croissance en longueur des os longs	21
2.2.7. Croissance des os en épaisseur ou en diamètre	22
2.2.7.1. Le remodelage osseux	23
2.3. Facteurs de croissance	23
2.4. Rythmes de croissance des membres	24
2.5. Régulation hormonale de la croissance au cours de l'enfance	26
2.6. Lois de la croissance.....	26

Sommaire

2.7. Technique de mesure de la croissance.....	27
2.8. Les courbes de croissance.....	28
2.9. Régulation hormonale de la croissance	28
2.10. Facteurs de variabilité de la croissance (sexe, nutrition, variations séculaires, milieu socio-économique, activité physique)	30
3. La maturation.....	32
3.1. La puberté.....	33
3.2. Etude de la maturation.....	35
3.2.1. La maturation osseuse ou squelettique	35
3.2.1.1. Méthode d'évaluation de la maturation osseuse (MELKHEIR)	36
A. La méthode de l'Atlas de Greulich et Pyle.....	36
B. La méthode de l'Atlas de Sempé et Pavia	37
C. La méthode numérique de Tanner-Whitehouse.....	37
3.2.2. La maturation sexuelle.....	38
3.2.2.1. Caractères sexuels secondaires	38
3.2.2.2. Auto-évaluation des caractères sexuels secondaires	40
3.2.2.3. La ménarche	40
3.2.3. La maturation somatique	41
3.2.3.1. Age du pic de croissance staturale : (en anglais : Peak height velocity) ou pic de croissance pondérale : (Peak weight velocity).	41
3.2.3.2. Age statural.....	42

Chapitre III

Effet de l'activité 2 physique et sportive sur la maturation biologique

1. L'activité physique	45
1.1. Terminologie	45
1.1.1. La dépense énergétique	45
1.1.2. Le niveau métabolique de repos	45
1.1.3. La dépense énergétique liée à l'activité physique	45
1.1.4. Le niveau d'activité physique.....	45
1.1.5. L'exercice	46
1.1.6. La condition physique	46
1.2. Caractéristiques de la pratique physique de l'enfant et de l'adolescent	46
1.2.1. Caractéristiques de l'activité physique	47
1.3. La mesure de l'activité physique	49
1.4. Les patterns d'activité physique chez l'enfant	49
2. Les déterminants de l'activité physique	50
2.1. Effet de l'âge	50
2.2. Effets du sexe	51
2.3. Les facteurs d'influence.....	53
2.3.1. Les facteurs biologiques	54
2.3.2. Le milieu scolaire	55
3. La relation entre AP et santé.....	55
3.1. Influence de l'activité physique sur la santé.....	56
3.1.1. La masse grasse et le surpoids	57

Sommaire

3.1.2. La santé cardiovasculaire.....	57
3.1.3. La santé mentale	57
3.1.4. Les performances intellectuelles	57
3.1.5. La condition physique	57
3.1.6. La minéralisation du tissu osseux.....	58
3.2. Activité physique, développement et maturation sexuelle	58
3.3. Effet de l'exercice pendant la croissance	58
3.3.1. Exercice physique et croissance osseuse longitudinale.....	59
3.3.2. Exercice physique et minéralisation osseuse.....	59
4. Caractéristiques morpho-métriques générales.....	60

Partie Méthodologique

1. Taches à réaliser	63
2. Echantillon.....	63
3. Moyens et méthode de la recherche	64
3.1. Moyens de la recherche	64
3.2. Méthodes de la recherche	64
4. Description des évaluations	65
4.1. La méthode utilisée pour déterminer l'âge osseux (atlas de Sempé)	65

Partie pratique

Présentation et interprétation des résultats	67
Discussion des résultats.....	100
Conclusion Générale	103
Références bibliographiques.....	106

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

AC : âge chronologique.

ADN : acide désoxyribonucléique.

AO : âge osseux.

AP : activité physique.

BPM : battement par minute.

DEAP : dépense énergétique d'activité physique.

DET : dépense énergétique totale.

FC_{max} : fréquence cardiaque maximale

GH : growth hormone, hormone de croissance.

GHIH : growth hormone inhibiting hormone, hormone inhibitrice de l'hormone de croissance.

GHRH : growth hormone releasing hormone, hormone libératrice de l'hormone de croissance.

IGF : insulin-like growth factor one, somatomédine.

MEC : matrice extracellulaire.

METs : metabolic equivalent of task, équivalent métabolique de la tâche.

NAP : niveau d'activité physique.

NMR : niveau métabolisme de repos.

RFC : request for comments, demande pour des commentaires.

RVO₂ : reciprocal velocity obstacle.

TIA : thermogenèse induite par l'alimentation.

Liste des tableaux

Tableau 1: Exemple de variation de la taille (variation gaussienne) chez 100 garçons âgés de 9 ans.....	35
Tableau 2: Valeurs du niveau d'activité physique pour une activité physique habituelle chez des enfants et adolescents adapté de Torun et al, (1996).....	46
Tableau 3: Quantification de l'intensité de l'activité physique.....	48
Tableau 4: Classification des activités physiques suivant leur intensité d'après Bailey et al, (1995), Straton, (1996), Freedson et al, (1998), Ekelund et al, (2004).	48
Tableau 5: Facteurs influençant l'AP habituelle et la dépense énergétique des enfants et des adolescents Sallis et Al, (2000).	54
Tableau 6: Etat de PVC de l'athlete Benosmane Nazim.....	68
Tableau 7: Etat de PVC de l'athlete Belhocine Amine.....	68
Tableau 8: Etat de PVC de l'athlete Salmi Fayz.....	68
Tableau 9: Etat de PVC de l'athlete Salmi Ramzi	68
Tableau 10: Etat de PVC de l'athlete Aissou Abdelghani	69
Tableau 11: Etat de PVC de l'athlete Zaidi Tarik.....	69
Tableau 12: Etat de PVC de l'athlete Chaboune Ayoub.....	69
Tableau 13: Etat de PVC de l'athlete Achour Yacine.....	69
Tableau 14: Etat de PVC de l'athlete Boutnaret Aimad	69
Tableau 15: Etat de PVC de l'athlete Aziri Elyas.....	70
Tableau 16: Etat de PVC de l'athlete Dahmani Aissam	70
Tableau 17: Etat de PVC de l'athlete Bouttaya Zineddine	70
Tableau 18: Etat de PVC de l'athlete Challale Samy	70
Tableau 19: Etat de PVC de l'athlete Mili Lina.....	71
Tableau 20: Etat de PVC de l'athlete Mouzaoui Asma	71
Tableau 21: Etat de PVC de l'athlete Azzoug Lyna	71
Tableau 22: Etat de PVC de l'athlete Ikhroufi Dalya	71
Tableau 23: Etat de PVC de l'athlete Bachy Maroua	71
Tableau 24: Etat de PVC de l'athlete Louasli Lina Malak	72
Tableau 25: Etat de PVC de l'athlete Aberkane Marwah	72
Tableau 26: Etat de PVC de l'athlete Sabi Alise	72
Tableau 27: Etat de PVC de l'athlete Mokrani Sophia	72
Tableau 28: Etat de PVC de l'athlete Berraki Lilia	72

Liste des tableaux

Tableau 29: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Aissou Abderahmane.....	73
Tableau 30: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Adour Anis.....	74
Tableau 31: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouchebbah Walid	74
Tableau 32: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Belaidene Islam	75
Tableau 33: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Yakoubi Aymen.....	76
Tableau 34: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Deguiz Abderahmane.....	76
Tableau 35: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Salmi Abderahmane.....	77
Tableau 36: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Charifi Med Chafik.....	78
Tableau 37: Comparaison de l'âge chronologie et l'âge osseux estimé de l'athlète Dahmana Ala Eddine	78
Tableau 38: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouchebbah Daris	79
Tableau 39: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Branci Amine	80
Tableau 40: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouda Omar	80
Tableau 41: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bessam Ilyes	81
Tableau 42: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Boutnarte Med Islam	82
Tableau 43: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ikhroufi Yanne.....	82
Tableau 44: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouguetaya Ali.....	83
Tableau 45: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux de l'athlète Bouchachi Amine	84

Liste des tableaux

Tableau 46: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Louasli Dia Eddine	84
Tableau 47: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ouzbidour Aymen	85
Tableau 48: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Zidane Dylan	86
Tableau 49: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Sabi Amayas	86
Tableau 50: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Boudergui Ikram.....	87
Tableau 51: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Dahmani Aya.....	88
Tableau 52: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Yahiaoui Hiba.....	88
Tableau 53: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ziane Lamis	89
Tableau 54: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Younsi Nihad	90
Tableau 55: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ouchene Maylis.....	90
Tableau 56: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Zaidi Ines	91
Tableau 57: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Hamani Lyna.....	92
Tableau 58: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ziane Hanane	92
Tableau 59: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Azzoug Massilva.....	93
Tableau 60: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ouyahia Louiza.....	94
Tableau 61: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Hamadi Imene	94
Tableau 62: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouaiche Linda.....	95

Liste des tableaux

Tableau 63: Tableau de comparaison de l'âge chronologique entre garçons et filles.....	96
Tableau 64: Comparaison de l'âge osseux entre les garçons et les filles.....	97
Tableau 65: Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des garçons.....	98
Tableau 66: Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des filles	99

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1 : Représente l'action de nager	6
Figure 2 : Représente la nage en bassin olympique	7
Figure 3 : Représente la nage libre	7
Figure 4 : Représente la nage du dos.....	8
Figure 5 : Représente la nage de la brasse.....	9
Figure 6 : Représente la nage du papillon	11
Figure 7 : L'ossification andochandrale dans un os long selon Marieb, (1999)	21
Figure 8 : Croissance en longueur d'un os long Marieb 1998	22
Figure 9 : Croissance et remaniement d'un os long au cours de l'enfance Marieb, (1999).....	23
Figure 10 : Contribution moyenne des cartilages de croissance proximaux et distaux des os longs des membres supérieurs et inférieurs à la taille adulte des os : les cartilages les plus éloignés du coude et les plus proches du genou sont les plus contributifs d'après les données de Pritchett, (1991 et 1992)	25
Figure 11 : Modélisation des différentes phases de la croissance, de sa vitesse et de son accélération au cours du développement de la fécondation à l'âge adulte d'après Pineau, (1965).	28
Figure 12 : La main et le poignet d'un bébé et d'un adulte.....	37
Figure 13 : Séquence de l'évolution des différents caractères sexuels secondaires chez la fille (en haut) et le garçon (en bas) d'après Marshall et Tanner, (1970).	39
Figure 14 : Distribution de l'âge de la ménarche selon l'âge chronologique (CA) ou l'âge osseux (SA) d'après Marshall, (1974), reproduite dans Tanner, (1982).	41
Figure 15 : Pic de vitesse de croissance/sexe, courbe individuelle de la taille debout (cm/an) d'une fille et d'un garçon suivis longitudinalement Tanner, (1982).	42
Figure 16 : Courbe individuelle de la masse corporelle (kg/an) d'une fille et d'un garçon suivis longitudinalement Tanner, (1982).....	42
Figure 17 : Pourcentage d'enfants ayant accumulé un minimum de 30 minutes par jour dans une activité de modérée à intense Armstrong et al, (1998).	51
Figure 18 : Temps passé dans une AP modérée chez des garçons et des filles âgés de 07, 10, 13 et 16 ans, chaque jour Trost et Al, (2002).	51
Figure 19 : Pourcentage d'enfants américains âgés de 13 à 16 ans qui participent à une AP vigoureuse 3 fois ou plus par semaines. Basé sur 11631 étudiants pour United States Youth Risk Behavior Survey (Centers for Disease Control and prevention, 1992).	52

Liste des figures

Figure 20 : Les relations entre l'AP et la santé Malina, (2001) d'après Blaire et al, (1989).	56
Figure 21 : Poids du corps en fonction de l'âge chez des jeunes des deux sexes vivant en Lombardie (1970) et en Suisse (1989).	60
Figure 22 : Taille en fonction de l'âge chez des jeunes des deux sexes vivant en Lombardie (1970), aux Pays-Bas (1985) et en Suisse (1989).....	61
Figure 23 : Radiographie de la main de l'athlète Aissou Abderahmane	73
Figure 24 : Radiographie de la main de l'athlète Adour Anis.....	73
Figure 25 : Radiographie de la main de l'athlète Bouchebbah Walid.....	74
Figure 26 : Radiographie de la main de l'athlète Belaidene Islam.....	75
Figure 27 : Radiographie de la main de l'athlète Yakoubi Aymen.....	75
Figure 28 : Radiographie de la main de l'athlète Deguiz Abderahmane	76
Figure 29 : Radiographie de la main de l'athlète Salmi Abderahmane.....	77
Figure 30 : Radiographie de la main de l'athlète Charifi Med Chafik.....	77
Figure 31 : Radiographie de la main de l'athlète Dahmana Ala Eddine	78
Figure 32 : Radiographie de la main de l'athlète Bouchebbah Daris.....	79
Figure 33 : Radiographie de la main de l'athlète Branci Amine	79
Figure 34 : Radiographie de la main de l'athlète Bouda Omar	80
Figure 35 : Radiographie de la main de l'athlète Bessam Ilyes	81
Figure 36 : Radiographie de la main de l'athlète Boutnarte Med Islam	81
Figure 37 : Radiographie de la main de l'athlète Ikhroufi Yanne	82
Figure 38 : Radiographie de la main de l'athlète Bouguetaya Ali	83
Figure 39 : Radiographie de la main de l'athlète Bouchachi Amine	83
Figure 40 : Radiographie de la main de l'athlète Louasli Dia Eddine	84
Figure 41 : Radiographie de la main de l'athlète Ouzbidour Aymen.....	85
Figure 42 : Radiographie de la main de l'athlète Zidane Dylan.....	85
Figure 43 : Radiographie de la main de l'athlète Sabi Amayas	86
Figure 44 : Radiographie de la main de l'athlète Boudergui Ikram.....	87
Figure 45 : Radiographie de la main de l'athlète Dahmani Aya	87
Figure 46 : Radiographie de la main de l'athlète Yahiaoui Hiba.....	88
Figure 47 : Radiographie de la main de l'athlète Ziane Lamis	89
Figure 48 : Radiographie de la main de l'athlète Younsi Nihad	89
Figure 49 : Radiographie de la main de l'athlète Ouchene Maylis	90
Figure 50 : Radiographie de la main de l'athlète Zaidi Ines	91

Liste des figures

Figure 51 : Radiographie de la main de l'athlète Hamani Lyna.....	91
Figure 52 : Radiographie de la main de l'athlète Ziane Hanane	92
Figure 53 : Radiographie de la main de l'athlète Azzoug Massilva.....	93
Figure 54 : Radiographie de la main de l'athlète Ouyahia Louiza.....	93
Figure 55 : Radiographie de la main de l'athlète Hamadi Imene.....	94
Figure 56 : Radiographie de la main de l'athlète Bouaiche Linda	95
Figure 57 : Comparaison de l'âge chronologique entre garçons et filles.	96
Figure 58 : Comparaison de l'âge osseux entre les garçons et les filles	97
Figure 59 : Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des garçons.....	98
Figure 60 : Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des filles	99

Introducción General

Introduction Générale

Plusieurs études démontrent clairement qu'à l'âge adulte les enfants actifs deviennent beaucoup plus forts et endurants que les enfants inactifs. Le développement de l'organisme de l'enfant en pleine croissance ne sera meilleur que quand il est utilisé, n'oublions jamais le principe qui dit que : la fonction crée l'organe, Bergeron, (1981)

Selon Bouchard et al, (1994) L'activité physique a des effets bénéfiques sur la santé des personnes durant l'enfance, l'adolescence, et la période adulte. Un style de vie avec une activité physique régulière permet un meilleur contrôle de la masse corporelle, une amélioration du fonctionnement organique et physiologique, une diminution des facteurs de risque associés aux pathologies chroniques et contribue à une bonne qualité de vie.

Le terme développement biologique est utilisé pour décrire le processus de différenciation et de spécialisation des cellules embryonnaires en différents types de cellule, tissus et organes. Il comprend de ce fait deux mécanismes biologiques : la croissance et la maturation qui sont constamment en interaction pendant approximativement les deux premières décades de la vie.

La croissance fait référence à l'augmentation des dimensions corporelles. Lorsque l'enfant grandit, il devient plus grand et plus lourd, il augmente sa masse grasse et sa masse musculaire ces organes augmentent en taille.

La maturation est l'ensemble des changements que présente une personne humaine tout au long de son enfance et de son adolescence, depuis sa conception jusqu'à l'âge adulte ou elle atteint sa maturité.

Les indices de cette maturation se divisent en trois : maturation somatique, sexuelle et squelettique Emmanuel, (2007).

L'évaluation de la maturation osseuse est fondée sur les changements du squelette qu'on observe à l'aide des radiographies. Les changements (accroissements) de chaque petit os à partir de l'ossification initiale jusqu'à la morphologie adulte apparaissent dans un ordre irréversible. Il s'agit de véritables indicateurs de maturité Greulich et Pyle, (1950).

Après avoir consulté de nombreux ouvrages et articles sur la maturation biologique des enfants scolarisés pratiquant une activité physique compétitive âgés de 9 à 16ans, une question se pose : **L'entraînement sportif compétitif a-t-il un effet sur la maturation biologique des enfants âgés de 9 à 16 ans ?**

Introduction Générale

Hypothèse

H1 : L'entraînement sportif intense peut avoir un effet sur la maturation biologique des athlètes en la retardant ou en l'avancant

H2 : On suppose qu'il existe une différence entre la maturation biologique des garçons et celle des filles.

Cependant, notre travail de recherche est porté sur l'étude l'évaluation descriptive de l'âge osseux (la méthode de Sempé et Paria et la méthode de cotation de tanner) à partir des radiographies du poignet et de la main d'enfant faisant partie des clubs sportifs (pratiquant une activité physique sportive compétitive).

Partie théorique

Chapitre I

La natation

1. Définition

Selon LAROUSSE, la natation est décrite comme étant un sport individuel et collectif (dans le cas des relais), qui consiste à parcourir le plus vite possible une distance à la nage dans une piscine homologuée. Elle englobe également les épreuves de plongeon ainsi que la natation synchronisée, qui s'inspire des ballets aquatiques.

Sport qui consiste à effectuer des mouvements réguliers et répétitifs dans l'eau dans le but d'avancer. En ce qui concerne la natation sportive, elle consiste à parcourir le plus rapidement possible une distance donnée, en piscine. Son style est codifié par la Fédération Internationale de Natation (FINA).

La natation est un sport qui consiste à se déplacer dans l'eau en utilisant les mouvements coordonnés des bras, des jambes et du corps. C'est à la fois un exercice de fitness et un loisir pratiqué dans les piscines, les lacs, les rivières ou les océans. Elle peut également être définie comme une technique de déplacement aquatique où le corps est soutenu par la flottabilité de l'eau. Elle peut être pratiquée à des fins récréatives, compétitives, thérapeutiques ou de sauvetage. Cette activité peut être réalisée avec différents styles de nage, tels que la brasse, le crawl, le dos crawlé et le papillon.

La natation est non seulement un excellent moyen de rester en forme, mais elle favorise également le développement des compétences de survie dans l'eau. Elle offre une sensation de liberté et de légèreté, tout en étant un sport complet qui sollicite de nombreux muscles du corps. De plus, la natation peut être pratiquée à tout âge et présente peu de risques de blessures par rapport à d'autres sports.

Elle est souvent recommandée comme une activité de rééducation pour les personnes souffrant de blessures ou de problèmes articulaires, car elle permet un mouvement fluide et sans impact. En outre elle favorise la relaxation et la réduction stress grâce à l'effet apaisant de l'eau.

Enfin, la natation est également une activité sociale, offrant l'occasion de rencontrer de nouvelles personnes et de partager des expériences autour de la piscine.



Figure 1 : Représente l'action de nager

1.1. La natation sportive au premier plan

En 1837, l'Angleterre accueille les premières compétitions de natation sportive. C'est la National Swimming Association qui crée donc la natation moderne, dans un pays où les piscines sont déjà développées. On peut dire que l'Angleterre est devenue le pays natal de la natation moderne. Les piscines y étaient développées, notamment à Londres. Après les compétitions de brasse en Grande-Bretagne, l'Australie s'est laissée attirée par ce sport. A Sydney, en 1846, le premier championnat de natation moderne a été remporté par W.Redman (440 yards, soit environ 400 mètres, en 8 minutes et 43 secondes). En 1858, à Melbourne, la première course internationale (le championnat du monde de natation) met aux prises les nageurs sur 100 yards. Un Australien s'était alors imposé devant un Anglais. La première fédération des clubs de natation est créée le 7 janvier 1869, à Londres.

1.2. La natation aux jeux olympiques

En 1896, lors des Jeux Olympiques d'Athènes, les épreuves de natation font leur apparition, avec un 100 mètres, un 500 mètres et un 1200 mètres. Elles se déroulaient en mer et étaient réservées aux hommes. Les femmes n'arrivent qu'en 1912, lors des JO de Stockholm. On nageait alors le crawl et la brasse. Le dos crawlé est intégré en 1904 et le papillon en 1956. En 1973 se tiennent les premiers championnats du monde à Belgrade, avec la natation sportive, le water-polo et le plongeon.

Actuellement seulement 04 nages sont acceptées en compétition : la nage libre (le crawl), la brasse, le dos crawlé et le papillon. Aujourd'hui, la natation est à la fois un sport de compétition de haut niveau et une activité de loisir pratiquée par des milliers de personnes

dans le monde entier. Elle continue d'évoluer avec l'introduction de nouvelles techniques et technologies, tout en restant une activité bénéfique pour la santé et le bien-être.



Figure 2 : Représente la nage en bassin olympique

- **La natation au sein des autres disciplines sportives**

On a souvent tenté de classer les exercices physiques et les disciplines sportives selon leur importance biologique. Lorentz (1938) attribue 42 points à la natation, ce qui lui a valu la première place. L'athlétisme qui est considéré comme sport de base par excellence obtint la seconde place avec 25 points. Même s'il manquait une base scientifique à un tel classement, nous pouvons affirmer sans exagérer que la natation possède une valeur énorme pour la santé, sans oublier que chaque problème de natation vaincu diminue le nombre de noyades.

1.3. Nage libre (Crawl)



Figure 3 : Représente la nage libre

La nage libre signifie que, dans une épreuve ainsi désignée, le nageur peut nager n'importe quel style de nage, sauf dans les épreuves de 4 nages individuelles ou de relais 4

nages, où la nage libre signifie tout style de nage autre que le dos, la brasse ou le papillon. Une partie quelconque du corps du nageur doit toucher le mur à la fin de chaque longueur et à l'arrivée. Une partie quelconque du corps du nageur doit couper la surface de l'eau pendant toute la course, sous réserve qu'il est permis au nageur d'être complètement submergé pendant le virage et sur une distance de 15 mètres au plus après le départ et chaque virage. A partir de ce moment-là, la tête doit avoir coupé la surface de l'eau.

1.4. SW 6 DOS

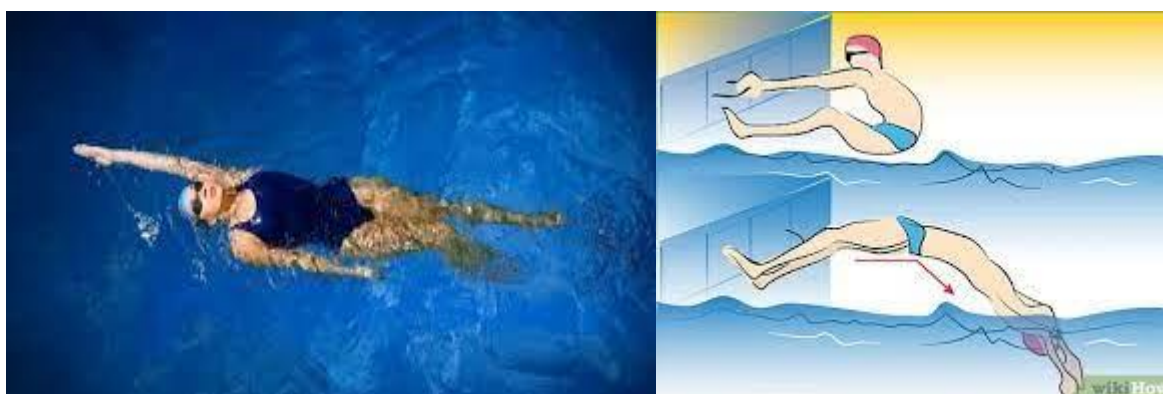


Figure 4 : Représente la nage du dos

Avant le signal de départ, les nageurs doivent s'aligner dans l'eau face à l'extrémité de départ, avec les deux mains placées sur les poignées de départ. Il est interdit de se tenir dans ou sur les trop-pleins ou d'accrocher les orteils au bord du trop-plein. Lorsque le dispositif de départ en dos est utilisé, les orteils des deux pieds doivent être en contact avec le mur ou la plaque de touche. Accrocher les orteils sur le dessus de la plaque de touche est interdit.

Interprétation FINA :

Quand le dispositif de départ en dos est utilisé le repose-pied peut être réglé entre +4 et -4 cm par rapport à la surface de l'eau. La FINA n'autorise pas d'autres réglages.

Dispositif de Départ en Dos :

Un dispositif de départ en dos incluant un repose-pied peut être utilisé :

- Le repose-pied peut être placé entre 4 cm au-dessus et 4 cm en-dessous du niveau de l'eau

- Le repose-pied doit mesurer au moins 65 cm de long
- Le repose-pied doit mesurer 8 cm de hauteur, 2 cm d'épaisseur au plus large et avoir une pente de 10°.

Au signal de départ et après le virage, le nageur doit se repousser du mur et nager sur le dos pendant toute la course sauf pendant l'exécution du virage. La position normale sur le dos peut inclure un mouvement de roulis du corps inférieur à 90 degrés par rapport à l'horizontale. La position de la tête est indifférente.

Une partie quelconque du corps du nageur doit couper la surface de l'eau pendant toute la course. Il est permis que le nageur soit complètement immergé pendant le virage, et sur une distance de 15 mètres au plus après le départ et chaque virage. A partir de ce moment-là, la tête doit avoir coupé la surface de l'eau.

Lors du virage, il faut qu'une partie quelconque du corps du nageur touche le mur. Pendant le virage, les épaules peuvent être tournées au-delà de la verticale pour se mettre en position ventrale, après quoi une immédiate traction continue du bras ou une immédiate traction simultanée des deux bras peut être faite pour amorcer le virage. Le nageur doit être retourné à une position sur le dos lorsqu'il quitte le mur.

A l'arrivée de la course, le nageur doit toucher le mur en étant sur le dos dans son couloir.

1.5. Brasse



Figure 5 : Représente la nage de la brasse

Après le départ et après chaque virage, le nageur peut faire un mouvement de bras se prolongeant jusqu'aux jambes pendant lequel le nageur peut être submergé. Après le départ

et après chaque virage, un seul coup de pieds de papillon est autorisé à n'importe quel moment avant le premier mouvement de jambes. La tête doit couper la surface de l'eau avant que les mains ne se tournent vers l'intérieur au moment de la phase la plus large de la seconde traction.

A partir du début de la première traction de bras après le départ et après chaque virage, le corps doit être en position ventrale. A aucun moment Il n'est permis de se tourner sur le dos, sauf au virage où après le toucher du mur il est permis de tourner de n'importe quelle manière dès lors que le corps est en position ventrale après avoir quitté le mur. Dès le départ et tout au long de la course, le cycle des mouvements doit comporter un mouvement de bras et un mouvement de jambes dans cet ordre. Tous les mouvements des bras doivent être simultanés et dans le même plan horizontal sans mouvement alterné.

Les mains doivent être poussées ensemble en avant à partir de la poitrine, au-dessous, au niveau ou au-dessus de l'eau. Les coudes doivent être sous la surface de l'eau, sauf avant le virage, pendant le virage, et pour la traction finale à l'arrivée. Les mains doivent être ramenées en arrière sur ou sous la surface de l'eau. Les mains ne doivent pas être ramenées au-delà de la ligne des hanches, sauf pendant la première traction après le départ et chaque virage.

Pendant chaque cycle complet, une partie quelconque de la tête du nageur doit couper la surface de l'eau. Tous les mouvements des jambes doivent être simultanés et dans le même plan horizontal sans mouvement alterné.

Les pieds doivent être tournés vers l'extérieur pendant la phase propulsive du mouvement de jambes. Les mouvements alternés ou " coup de pieds de papillon vers le bas " ne sont pas autorisés. Couper la surface de l'eau avec ses pieds est autorisé si cela n'est pas suivi d'un mouvement vers le bas du type " coup de pieds de papillon vers les bas ".

A chaque virage et à l'arrivée de la course, le contact doit se faire simultanément avec les deux mains séparées soit au niveau de l'eau, soit au-dessus, soit en dessous. Au dernier mouvement avant le virage et à l'arrivée un mouvement de bras non suivi d'un mouvement de jambes est autorisé. La tête peut être immergée après la dernière traction de bras avant le toucher, à condition qu'elle coupe la surface de l'eau à un certain point pendant le dernier cycle complet ou incomplet précédant le contact.

Interprétation FINA :

« Séparées » signifie que les deux mains ne peuvent pas être superposées. Il n'est pas obligatoire d'avoir un espace entre les mains qui peuvent donc se toucher. Un recouvrement fortuit des doigts n'est pas grave.

1.6. Papillon

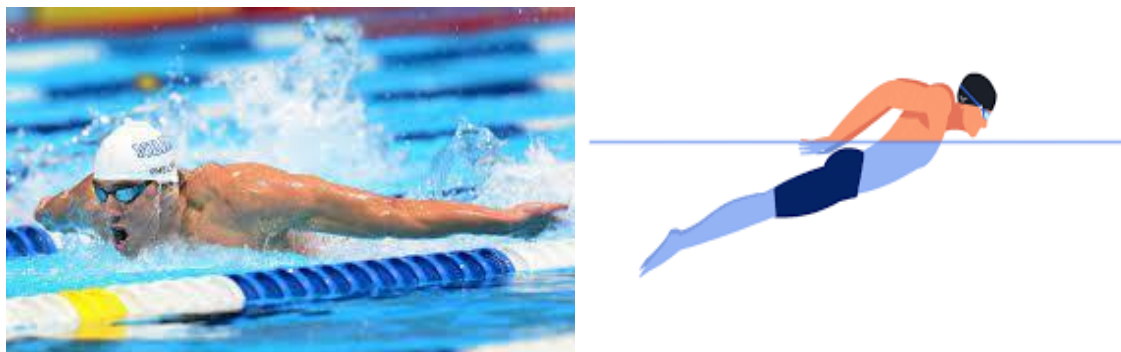


Figure 6 : Représente la nage du papillon

A partir du début de la première traction de bras après le départ et après chaque virage, le corps doit rester en position ventrale. A aucun moment Il n'est permis de se tourner sur le dos, sauf au virage où après le toucher du mur il est permis de se tourner de n'importe quelle manière dès lors que le corps est en position ventrale après avoir quitté le mur.

Les deux bras doivent être amenés en avant simultanément au-dessus de la surface de l'eau et ramenés en arrière en même temps sous le niveau de l'eau tout au long de la course.

Tous les mouvements des pieds vers le haut et vers le bas doivent être simultanés. Les jambes ou les pieds ne doivent pas être nécessairement au même niveau, mais ils ne doivent pas alterner les uns avec les autres. Un mouvement de jambes de brasse n'est pas autorisé.

A chaque virage et à l'arrivée de la course, le contact doit se faire avec simultanément les deux mains séparées, soit au niveau de l'eau, soit au-dessus, soit au-dessous.

Interprétation FINA :

« Séparées » signifie que les deux mains ne peuvent pas être superposées. Il n'est pas obligatoire d'avoir un espace entre les mains qui peuvent donc se toucher. Un recouvrement fortuit des doigts n'est pas grave.

Au départ et aux virages, un nageur est autorisé à faire un ou plusieurs mouvements de jambes et une traction de bras sous l'eau, ce qui doit lui permettre d'atteindre la surface. Il doit être permis au nageur d'être complètement immergé sur une distance de 15 mètres au plus après le départ et chaque virage. A ce moment-là, la tête doit avoir coupé la surface de l'eau. Le nageur doit rester à la surface de l'eau jusqu'au virage suivant ou jusqu'à l'arrivée.

1.7. Quatre nages

Dans les épreuves de 4 nages individuelles, le nageur couvre les quatre nages dans l'ordre suivant : Papillon, Dos, Brasse et Nage Libre. Chaque nage doit couvrir un quart (1/4) de la distance.

Interprétation FINA :

Chaque nage doit couvrir un quart (1/4) de la distance totale. Comme la nage en dos est définie par l'unique fait d'être sur le dos, rester sur le dos pendant la portion de nage libre d'une épreuve de quatre nages entraîne que plus d'un quart de la distance totale a été parcourue en dos. C'est un cas de disqualification. Cependant, il est autorisé de quitter le mur en position dorsale dans la portion de nage libre, à condition qu'aucun mouvement ne soit effectué avant que le nageur n'ait retrouvé une position ventrale en franchissant la verticale. A partir de cet instant les mouvements de jambes, même ceux de papillon, sont autorisés.

En nage libre le nageur doit être en position ventrale, sauf lors de l'exécution du virage. Le nageur doit se retrouver en position ventrale avant tout battement ou mouvement.

Dans les épreuves de relais 4 nages, les nageurs couvriront les quatre nages dans l'ordre suivant : Dos, Brasse, Papillon, et Nage Libre. Chaque nage doit couvrir un quart (1/4) de la distance.

Chaque partie s'achève conformément à la règle qui s'applique à la nage concernée.

1.8. La course

Toutes les courses individuelles doivent être organisées en séparant les filles et les garçons.

Un nageur nageant seul toute l'épreuve doit couvrir la distance complète pour se qualifier.

Le nageur doit rester durant toute la course dans le même couloir, celui où il a commencé.

Dans toutes les épreuves, un nageur effectuant un virage doit avoir un contact physique avec l'extrémité de la piscine ou de la longueur. Le virage doit être fait à partir du mur, et il n'est pas permis de se pousser ou de faire un pas au fond de la piscine.

Un nageur qui se tient debout au fond de la piscine pendant les épreuves de nage libre ou pendant la partie nage libre des épreuves 4 nages ne doit pas être disqualifié, mais il ne doit pas marcher.

Il n'est pas permis de tirer sur la ligne de couloir.

Gêner un autre nageur en nageant à travers un autre couloir ou de toute autre manière disqualifiera le gêneur. Si la faute est intentionnelle, le juge arbitre doit rapporter l'affaire au Membre organisant la course, et au Membre dont relève le nageur coupable.

Aucun nageur ne sera autorisé à utiliser ou à porter un équipement ou un maillot de bain qui puisse améliorer sa vitesse, sa flottabilité ou son endurance pendant une compétition (tels que des gants palmés, palmes, nageoires, bandes élastiques, matières adhésives, etc.). Il est permis de porter des lunettes de natation. Aucun « strap (ruban) » sur le corps n'est autorisé à moins qu'il ne soit approuvé par le Comité Médical.

Tout nageur qui n'est pas engagé dans une course, et qui entre dans l'eau pendant qu'une épreuve s'y déroule avant que tous les nageurs aient terminé la course, sera disqualifié pour la prochaine épreuve à laquelle il est inscrit dans la rencontre.

Il y a quatre nageurs dans chaque équipe de relais. Des relais mixtes peuvent être nagés. Les relais mixtes doivent être composés de deux (2) hommes et deux (2) femmes. Les temps intermédiaires réalisés dans les épreuves de relais mixtes ne peuvent pas être enregistrés comme records et/ou temps d'engagement.

Dans les épreuves de relais, l'équipe d'un nageur dont les pieds ont perdu le contact avec le plot de départ avant que le coéquipier le précédant ne touche le mur sera disqualifié.

Une équipe de relais sera disqualifiée dans une course si un membre de l'équipe, autre que le nageur désigné pour nager cette longueur, entre dans l'eau lorsque la course est en cours, avant que tous les nageurs de toutes les équipes n'aient fini la course.

Les membres d'une équipe de relais et leur ordre de départ doivent être précisés avant la course. Un membre d'une équipe de relais ne peut concourir dans une course qu'une seule fois. La composition d'une équipe de relais peut être changée entre les séries et les finales d'une épreuve, à par un Membre pour cette épreuve. Le fait de ne pas nager dans l'ordre indiqué entraînera la disqualification. Des remplacements ne peuvent avoir lieu que par suite d'une urgence médicale attestée.

Un nageur ayant fini sa course, ou sa distance dans une épreuve de relais, doit quitter la piscine aussitôt que possible sans gêner tout autre nageur qui n'a pas encore fini sa course. Sinon, le nageur fautif, ou son équipe de relais, sera disqualifié.

Si une faute compromet la chance de succès d'un nageur, le juge arbitre aura le pouvoir de lui permettre de concourir dans la série suivante ou, si la faute se produit au cours d'une finale, ou dans la dernière série, il ou elle pourra faire nager de nouveau l'épreuve

2. Les bases théoriques

Il est important d'avoir quelques notions des principes qui régissent la problématique du nageur dans l'élément liquide.

- Le nageur est confronté à un certain nombre de forces qui agissent et réagissent à son corps en déplacement dans l'eau et aux actions qu'il mène sous la surface de l'eau.
- La meilleure technique consiste à jouer sur l'efficacité des actions propulsives tout en réduisant au maximum les répercussions des différentes formes de résistances qu'elles vont générer.

Deux grands types de résistances se dégagent :

- Les résistances passives, qui sont liées au corps du nageur et qui dépendent de sa morphologie, de sa densité, de sa peau... ;
- Les résistances actives, qui sont liées à la technique mise en œuvre au travers de la position et des différents mouvements nécessaires à la propulsion.

Si les résistances passives, liées à la forme du corps du nageur, ne peuvent être modifiées, la technique, quant à elle, permet de jouer sur les résistances actives qui sont plus dommageables.

3. Les valeurs sanitaires

La pratique normale et régulière de la natation aguerrit l'organisme du nageur. Cet organisme se défend mieux contre les maladies, devient plus fort et plus souple. Le système nerveux se trouve équilibré. Nous distinguons de nombreuses influences sur l'organisme :

- Influence générale de la natation sur le corps humain ;
- Influence de l'eau, l'air et le soleil ;
- Influence sur le cœur et la circulation sanguine ;
- Influence sur l'appareil respiratoire ;
- Influence sur la musculature et le système moteur ;
- Influence sur le métabolisme ;
- Influence sur le système nerveux.

4. Importance de l'initiation à la natation à bas âge

L'enfant qui nage à 06 ans subit une prévention contre toutes les déformations de la colonne vertébrale. En effet en position horizontale elle subit des mouvements à tendance latéral. De nos jours les médecins prescrivent la natation comme remède contre ces déformations. D'autre part en position horizontale, le corps ne supporte pas son poids (poids du corps humain a peu près égal à celui de l'eau), tous les mouvements ne servent qu'à l'avancement. Les articulations ne sont pas endommagées. Ainsi les jeunes nageurs supportent une grande charge d'entraînement sans que cela porte préjudice à leur organisme.

L'âge idéal pour les meilleures performances se situe entre 15 et 19 ans en Algérie. Les pays avancés dans le domaine de la natation préconisent les âges à partir de 13 ans. Ceci suppose que le nageur ait débute tôt, et a eu une formation de base plus un entraînement de bases normales, établie en fonction d'une planification à long terme. L'évolution est progressive, régulière et sans heurts. Chaque qualité acquise l'est à long terme.

Chapitre II
Croissance et maturation
biologique

1. Développement

Le développement d'un individu débute dès la fécondation, se poursuit avec la croissance et la maturation de l'organisme, et se termine par la sénescence (développement négatif). Ces divisions artificielles en plusieurs phases se montrent en réalité comme des transitions plus floues et continues. Le développement des jeunes âgés de 10 à 18 ans comprend deux processus : la croissance et la maturation. Celles-ci sont caractérisées par d'importantes modifications, du niveau protéique au niveau somatique. Ces évolutions sont influencées par la génétique, l'environnement (nutrition, éducation, niveau d'activité physique) et l'interaction de ces deux facteurs. Delemarre-van de Waal, (1993) ; Malina et coll, (2004) ; rosenbloom, (2007).

La croissance et la maturation peuvent apparaître de manière concomitante, ou successive en fonction de la période de la vie et du niveau d'analyse (organisme, système, organe, tissu, cellule). Bien qu'ayant des caractéristiques distinctes, la croissance et la maturation sont des processus inter-reliés et parfois difficilement dissociables lors d'études chez une population jeune. Par exemple, la croissance du tissu musculaire est dépendante du niveau de maturité du système hormonal.

2. La croissance

D'après Godin, (1935), l'auxologie est l'étude de la croissance suivie chez les mêmes sujets pendant de nombreux semestres successifs par un grand nombre de mesures.

La croissance relève d'un mécanisme de transformation structurale et dimensionnelle. A savoir qu'elle est le résultat d'un triple processus cellulaire et organique qui débute peu après la fécondation.

Desbiens et al, (1998) ont défini la croissance comme ceci : « la croissance est l'augmentation de volume d'une partie du corps ou de l'organisme entier, habituellement par la multiplication des cellules. Notons toutefois que les cellules grossissent aussi lorsqu'elles ne sont pas en train de se diviser, pour qu'une véritable croissance se produise, il faut que les activités anaboliques (de synthèse) se fassent à un rythme plus rapide que les activités cataboliques (de dégradation) ».

Rappelons que la croissance est un processus biologique naturel et individuel ayant lieu de la conception humaine jusqu'à l'atteinte de l'âge adulte (Armstrong, 2018 ; Baxter-Jones et Coll, 2005). Celle-ci fait référence à des changements mesurables, caractérisés par

une augmentation progressive des dimensions corporelles (taille, envergure, masse, circonférence). Le développement quantitatif (longueur, surface, volume) des différents tissus, notamment musculaires et osseux, est la résultante de différents mécanismes cellulaires. L'hyperplasie (augmentation du nombre de cellules) qui implique les processus de duplication d'ADN et de division cellulaire, sera prédominante au cours de la vie intra-utérine (Allen et Coll, 1979). L'augmentation de la taille des éléments fonctionnels des cellules (sarcomères pour les cellules musculaires) va permettre une augmentation du volume total cellulaire, ou hypertrophie (Allen et Coll, 1979), qui intervient pendant la totalité du développement avec une augmentation plus prononcée chez des individus entraînés. L'accrétion (augmentation de la matrice intracellulaire ou des substances intercellulaires) survient de manière concomitante à l'hypertrophie (Falkner et Tanner, 1986 ; Lloyd et Oliver, 2019).

A.Colombo, (2016) de nombreux travaux ont été menés et plusieurs définitions de la croissance ont été données. Elle a été présentée comme :

- « Le résultat d'un accroissement dans l'espace du nombre et de la dimension des cellules » (Godin 1903)
- « Un phénomène quantitatif se traduisant par la modification progressive de la valeur de diverses mesures corporelle .l'évolution de la croissance conduit à des individus de formes différentes » (Maresh 1970)
- « Un processus continu et généralement régulier sur une longue période malgré l'existence de variations chez certains enfants » (Eleventh et Tanner 1990)
- « Un processus qui produit la variabilité » (Hoppa et Fitzgerald 1999)
- « Un processus quantitatif avec une augmentation de la taille (en longueur et en largeur) »
- « Des changements morphologiques et physiologiques de la conception jusqu'à l'âge adulte» (Susanne 1991)
- « L'augmentation en taille du corps ou de ses parties » (Ulijasek et al.1998).

2.1. Les phases de la croissance

Phase 1 : Il s'agit d'une phase de multiplication de toutes les cellules sans augmentation du cytoplasme. Elle démarre approximativement au 8^{ème} jour de la vie embryonnaire, ses caractéristiques sont : aucune spécialisation des cellules et aucun arrangement morphologique.

Phase 2 : C'est la phase pendant laquelle la division cellulaire ralentit, cependant les protéines continuent à être synthétisées et entrent dans le cytoplasme. Les cellules s'hypertrophient, elle débute vers 15 jours et se termine aux environs de 7 mois de la vie intra-utérine, ses caractéristiques : début de spécialisation des cellules et formes spécifiques de l'être définitif.

Phase 3 : Cette phase d'accroissement dimensionnel s'arrête vers 18-20 ans. Toute division cellulaire est arrêtée, ce pendant les cellules continuent leur croissance, ses caractéristiques sont : importantes modifications morphologiques. C'est cette dernière phase qui intéresse plus particulièrement les étudiants ou les éducateurs, puisqu'ils interviennent directement pendant cette période. P. Duché et E. Van Praagh, (2009).

2.2. Les types de croissance

Sprumont et coll, (1998) dans leur ouvrage l'enfant et le sport, ont déterminé les types de croissance qu'un enfant subit en chemin de son développement et maturation.

2.2.1. La croissance du système nerveux

La courbe neurale décrit la croissance du cerveau, du système nerveux périphérique et des structures associées comme les yeux, le fond de certaines parties du crâne. Tous ces tissus présentent une croissance rapide et précoce, de sorte qu'à l'âge de 7 ans, le système nerveux central a déjà atteint 95% des dimensions et de l'organisation qu'il présentera à l'âge adulte.

2.2.2. La croissance du système génitale

La courbe décrivant la croissance du système génitale concerne l'évolution des caractères sexuels primaires et secondaires. Les premiers comprennent les ovaires, les trompes utérines, l'utérus et le vagin chez les filles, les testicules, les vésicules séminales, la prostate et le pénis chez les garçons. Les caractères sexuels secondaires sont le développement des seins des filles, le développement des pilosités pubiennes et axillaire dans les deux sexes, l'apparition de la barbe et l'allongement larynx chez les garçons.

2.2.3. La croissance de la taille et du poids

De la naissance à l'âge adulte, le poids et la taille présentent une évolution en quatre phases :

- Croissance rapide pendant la petite enfance et au début de l'enfance,
- Croissance régulière durant l'enfance,
- Nouvelle accélération de la croissance pendant l'adolescence,
- Diminution progressive du taux de croissance jusqu'à la taille adulte.

Le poids du corps continu généralement pendant la vie adulte. Avant la pointe de croissance de l'adolescence, il existe des différences sexuelles mais elles sont relativement peu marquées. Les garçons tendent à être en moyenne légèrement plus grands et plus lourds que les filles, mais les courbes de croissances des deux sexes se superposent souvent.

2.2.4. La croissance des compositions du corps

- **La masse maigre** : Suit une évolution similaire à celle du poids et de la taille. Les différences sexuelles apparaissent nettement au pic de croissance de l'adolescence.
- **La masse grasseuse totale** : Augmente durant les deux ou trois premières années de la vie et ne marquent ensuite que peu de changements 5 ou 6 ans. Les différences sexuelles sont négligeables à cet âge. Par la suite, la masse augmente plus rapidement chez les filles que chez les garçons. Elle continue à augmenter pendant l'adolescence chez les filles. Elle présente en moyenne 1.5 à 2 fois plus de masse grasseuse que les garçons en fin d'adolescence ou jeune adulte.

2.2.5. La croissance osseuse

2.2.5.1. Développement des os (ostéogénèse)

L'ostéogénèse et l'ossification sont des termes synonymes qui désignent le processus de formation des os. Chez l'embryon, ce processus mène à la formation du squelette osseux. La croissance osseuse, une autre forme d'ossification, se poursuit jusqu'à l'âge adulte, tant que le sujet continue de grandir. En fait, les os sont en mesure de croître en épaisseur tout au long de la vie d'un individu. Cependant, chez l'adulte, l'ossification sert surtout au remaniement et la consolidation des os. Marieb (1999).

Selon Pierre, (2009) « les physes assurent leurs fonctions jusqu'en fin de puberté ou la maturité squelettique s'accompagne de leur disparition définitive et signe la fin de la

croissance. Cette disparition, asynchrone selon les localisations anatomiques, permet d'évaluer l'âge osseux de l'adolescent ».

2.2.5.2. Formation du squelette osseux

Jusqu'à la sixième semaine de gestation. Le squelette de l'embryon humain est entièrement composé de membranes fibreuses et de cartilage hyalin. Puis les tissus osseux commencent à se former et finissent par remplacer la plus grande partie des structures fibreuses ou cartilagineuses. L'ossification intra-membraneuse désigne le processus de formation d'un os à partir d'une membrane fibreuse : l'os ainsi constitué est appelé os intra-membraneux. Si l'ossification se produit à partir du cartilage hyalin, on parle d'ossification andochandrale. L'os qui en résulte est nommé os cartilagineux Marieb (1999).

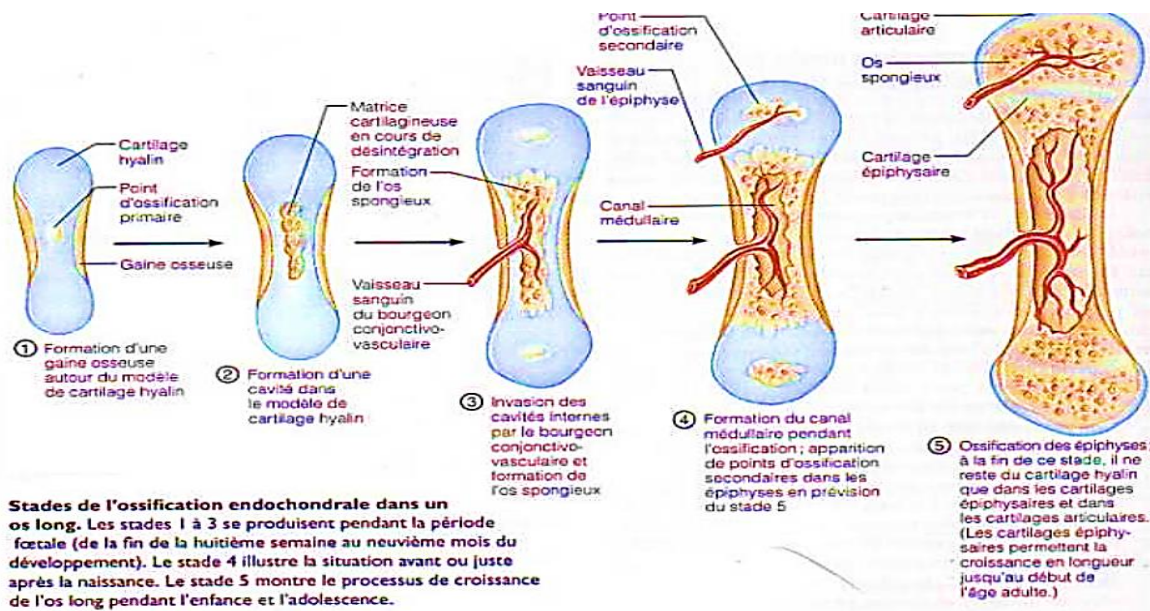


Figure 7 : L'ossification andochandrale dans un os long selon Marieb, (1999)

2.2.6. Croissance en longueur des os longs

Selon Marieb, (1999) le processus de croissance en longueur des os s'articule autour de plusieurs événements qui se produisent au cours de l'ossification andochandrale. La structure du cartilage épiphysaire qui s'appuie sur la diaphyse est telle qu'elle permet une croissance rapide et efficace. Le chondrocyte forme des grandes colonnes, comme un empilement de pièces de monnaie. Les cellules placées au sommet de la pile se divisent rapidement éloignant ainsi l'épiphyse de la diaphyse et causant un allongement de l'os dans son ensemble. Dans le même temps, les chondrocytes plus âgés qui se trouvent plus près de

la diaphyse grossissent, et la matrice de cartilage qui les entoure se calcifie. Par la suite, les chondrocytes meurent et leur matrice se désintègre.

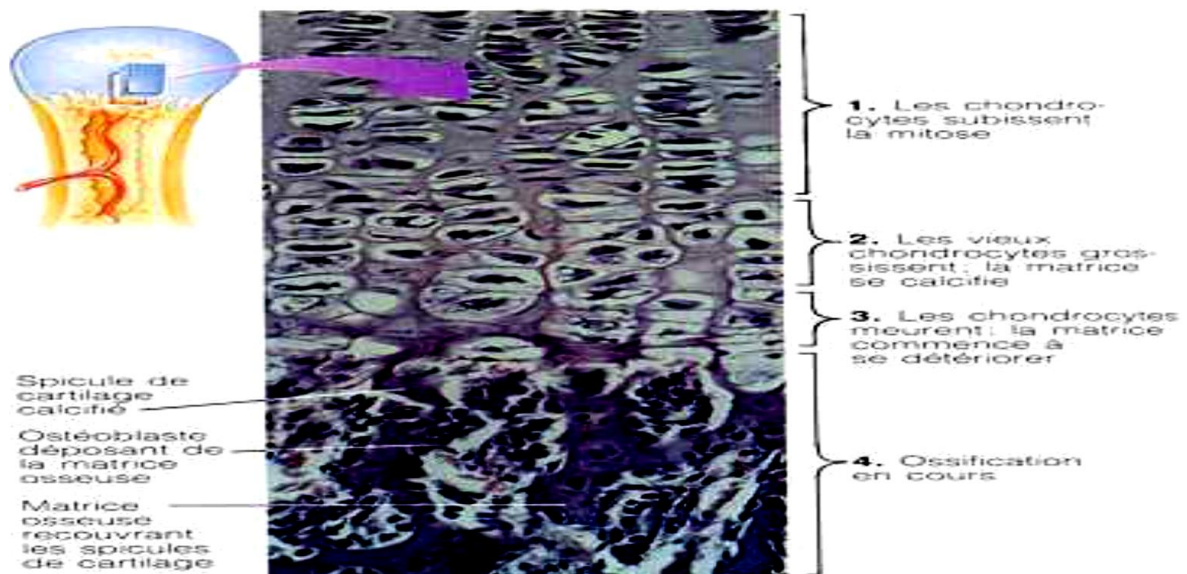


Figure 8 : Croissance en longueur d'un os long Marieb 1998

Il reste à la jonction de l'épiphyse et de la diaphyse de longs spicules de cartilages calcifiés. Ces spicules sont rapidement recouverts de matrices osseuses par les ostéoblastes, produisant ainsi de l'os spongieux qui finit par être digéré par les ostéoblastes.

La croissance en longueur d'un remaniement presque contenu des extrémités apophysaires, ce qui a pour effet de conserver des proportions. Le remaniement osseux, qui inclut à la fois la formation et la résorption (destruction) de matière osseuse.

2.2.7. Croissance des os en épaisseur ou en diamètre

Les os en croissance doivent épaissir à mesure qu'ils allongent. Comme les cartilages, les os gagnent en épaisseur ou, dans le cas des os longs, en diamètre, par le processus de croissance par apposition. Les ostéoblastes qui se trouvent sur le périoste secrètent une matrice osseuse sur la surface externe de l'os tandis que les ostéoclastes situés sur l'endoste de la diaphyse détruisent l'os avoisinant. Cependant, la désintégration est en général moins importante que l'apport de matière osseuse, ce processus produit donc un os plus épais et plus solide sans trop l'alourdir Marieb, (1999).

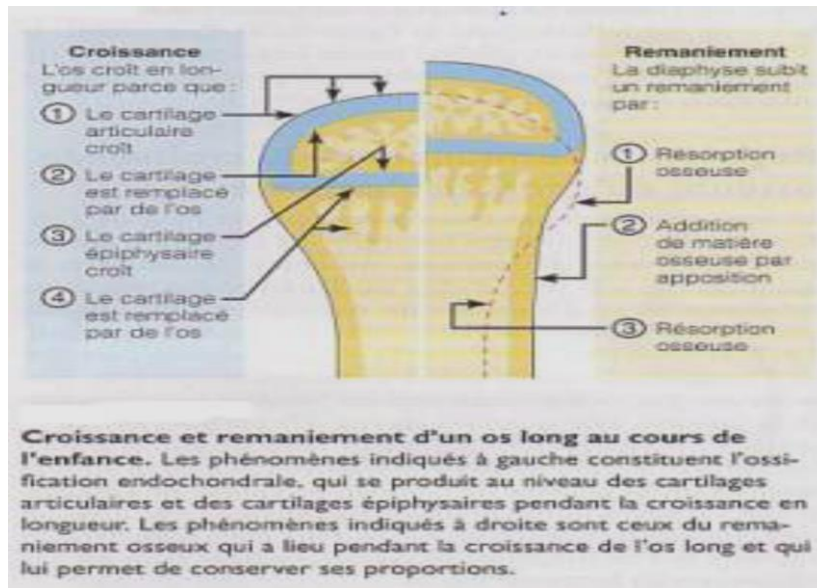


Figure 9 : Croissance et remaniement d'un os long au cours de l'enfance Marieb, (1999)

2.2.7.1. Le remodelage osseux

Le remodelage osseux se divise en deux étapes : la résorption osseuse (action des ostéoclastes) et le dépôt osseux (action des ostéoblastes). Le remodelage fait référence à un phénomène local qui change la taille et la forme de certaines structures osseuses Valentin et Streffer, (2002). Il se fait à des vitesses différentes dans le corps (e.g. l'extrémité distale du fémur est remplacée tous les quatre mois alors que la diaphyse fémorale n'est jamais entièrement remaniée) Tortora et Derrickson, (2007) et varie en fonction de l'âge et du tissu osseux. Un ostéoclaste se fixe à la surface de l'endoste ou du périoste, et entame son travail de digestion en creusant de petits tunnels ou lacunes (lacunes de Howship) dans le tissu osseux. La matière dégradée et assimilée par endocytose et libérée par exocytose dans les espaces interstitiels Tortora et Derrickson, (2007). Les lacunes sont ensuite colonisées par les ostéoblastes qui entament un nouveau dépôt de matière ostéoïde, qui se minéralisera par la suite.

2.3. Facteurs de croissance

La croissance osseuse est modulée par des cycles de régulation dépendant de divers éléments que sont :

- Les minéraux : calcium et phosphore (nécessaires en grande quantité), magnésium, fer et manganèse (nécessaires en plus faible quantité) ;

- Les vitamines : la vitamine D (essentielle à l'absorption du calcium et à la minéralisation des os), la vitamine C (contribue à la synthèse du collagène et à la différenciation des ostéoblastes en ostéocytes) ;
- Les hormones : les facteurs de croissance analogues à l'insuline (- IGF - sécrétés par le tissu osseux et le foie sous l'influence de la GH, ils stimulent les ostéoblastes), les hormones thyroïdiennes (T3 et T4, agissent sur les ostéoblastes), la parathormone (joue un rôle dans la régulation de la calcémie lors d'une diminution de celle-ci), la calcitonine (hormone thyroïdienne, joue le rôle inverse de la parathormone) ;
- Les stéroïdes sexuels : testostérone et œstrogènes (stimulent l'activité des ostéoblastes et la sécrétion de MEC) Tortora et Derrickson, (2007).

GH et hormones thyroïdiennes sont indispensables au développement osseux normal, à la croissance en longueur (GH), à l'ostéogenèse et à la maturation osseuse (hormones thyroïdiennes). Les androgènes accélèrent croissance et maturation, aboutissant à la fermeture des cartilages de conjugaison.

2.4. Rythmes de croissance des membres

Sur l'ensemble du développement d'un individu la croissance peut sembler être un processus continu, ce qu'elle n'est pourtant pas. En effet, à une échelle plus petite, il existe une cyclicité de la croissance et de la maturation post-natale aussi bien que des sauts dans la croissance linéaire. Tout ceci est variable d'un segment à l'autre ou sur l'ensemble de l'individu Ulijaszek et al, (1998). La croissance staturale est donc composite et différentielle. In utero, la croissance de la tête et du tronc est plus importante que celle des membres. L'inverse est observé pendant l'enfance. Pendant la puberté, le développement des membres inférieurs est terminé avant l'atteinte de la taille adulte Pineau, (1965) ; Nicolino et Forest, (2001). Les rythmes de croissance en largeur et en longueur sont différents entre les os des membres supérieurs et inférieurs Depreux et Fontaine, (1951).

La croissance des membres s'arrête avant celle du tronc. Les vitesses de croissance sont également différentes entre les os. Pour les os longs, le fémur a la croissance la plus rapide, alors que le radius croît le moins vite Maresh, (1970). Les rythmes varient tout au long de la croissance et les proportions changent. Au cours de la puberté, les proportions des membres supérieurs par rapport à la stature restent les mêmes mais diminuent par rapport au tronc. Pour exemple, l'accroissement du bras suit un profil sinusoïdal avec une alternance

de phase de croissance rapide et lente (alternance semestrielle lissée lorsqu'elle est annuelle), la proportion du bras par rapport à la longueur du membre est constante (42 %).

L'accroissement de l'avant-bras est semblable à celui du bras, cependant une alternance de phases lentes et rapides entre bras et avant-bras est notée. La phase de croissance lente en longueur pourrait aussi correspondre à une phase de croissance rapide en largeur Godin, (1903) ; Maresh, (1970).

Déjà à la fin du 19e siècle, il était connu que la croissance n'était pas égale aux deux extrémités d'un os long. Selon un procédé expérimental, la loi suivante est établie :

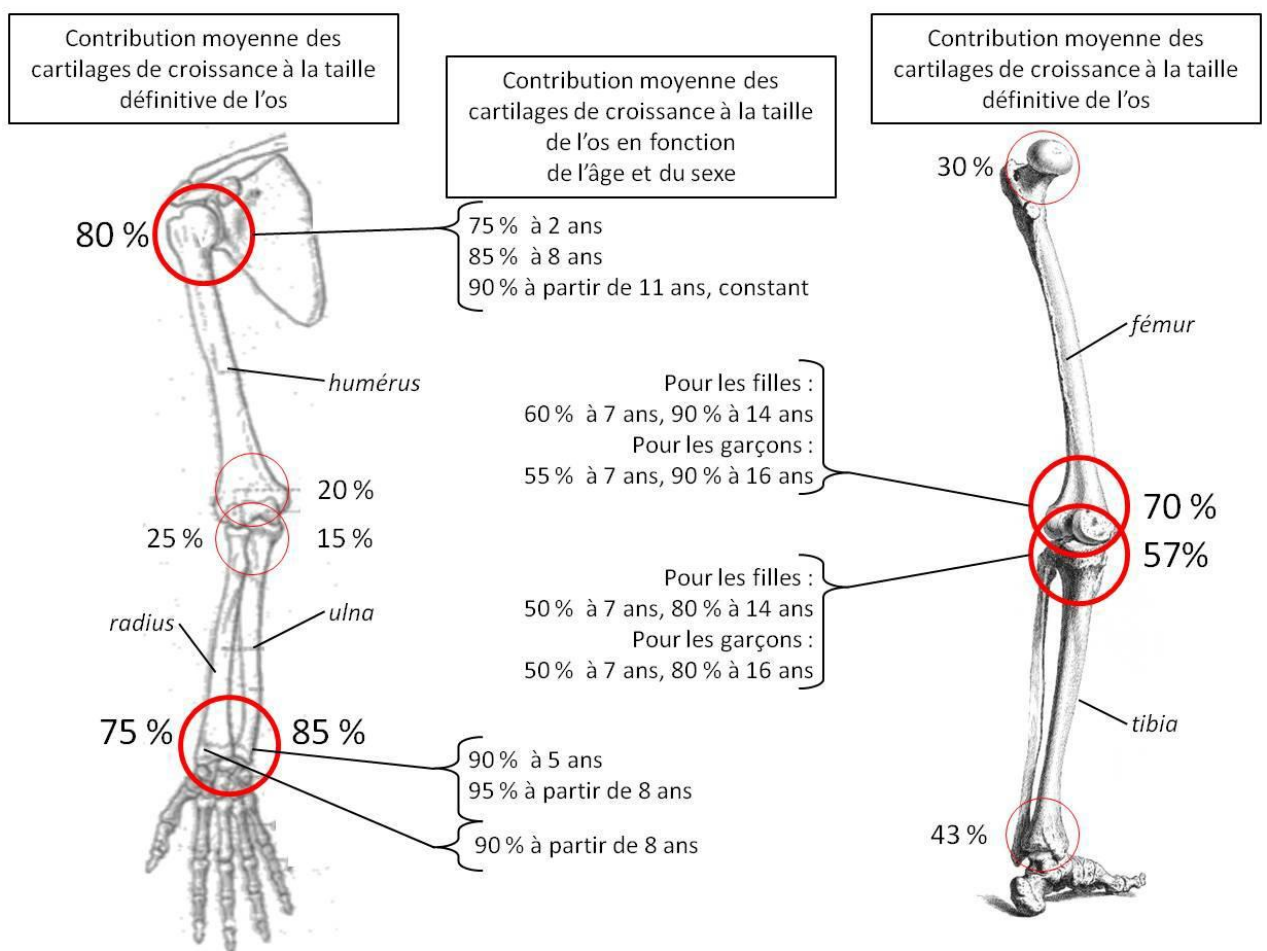


Figure 10 : Contribution moyenne des cartilages de croissance proximaux et distaux des os longs des membres supérieurs et inférieurs à la taille adulte des os : les cartilages les plus éloignés du coude et les plus proches du genou sont les plus contributifs d'après les données de Pritchett, (1991 et 1992)

D'après A. Colombo, (2014), « Au membre supérieur pour les os du bras et de l'avant, c'est l'extrémité éloignée du coude qui s'accroît le plus. Au membre inférieur, au contraire, pour les os de la cuisse et de la jambe, c'est l'extrémité éloignée du genou qui s'accroît le moins » Ollier, (1863). La contribution en terme production osseuse de chaque physe a pu être quantifiée pour le membre supérieur (Pritchett 1991) et pour le membre inférieur Pritchett, (1992), confirmant la loi précédente (Figure 10).

2.5. Régulation hormonale de la croissance au cours de l'enfance

D'après Marieb, (1999) « la croissance osseuse qui s'opère tout le long de l'enfance et de l'adolescence est réglée de façon très précise par un ensemble d'hormones. Au cours de l'enfance, le stimulus qui a le plus d'effets sur l'activité des cartilages épiphysaires est l'hormone de croissance (GH) sécrétée par l'adénohypophyse (lobe antérieur de l'hypophyse). Les hormones thyroïdiennes modulent l'activité de l'hormone de croissance de sorte que le squelette conserve des proportions convenables pendant sa croissance. A la puberté, une quantité accrue d'hormones sexuelles mâles et femelles se trouve libérée. Ces hormones sexuelles provoquent dans un premier temps la poussée de croissance typique de l'adolescence, de même que la masculinisation ou la féminisation de certaines parties du squelette. Puis elles entraînent la soudure des cartilages épiphysaires, mettant ainsi fin à la croissance en longueur des os ».

2.6. Lois de la croissance

La croissance est un processus comportant des phases de stabilité et des phases d'accélération. Nous pouvons définir plusieurs périodes caractéristiques :

- De 0 à 2 ans : on assiste à une croissance très rapide,
- De 2 ans a la puberté : une stabilité de la vitesse de croissance s'opère,
- A la puberté : on assiste à une nouvelle accélération.

Essentiellement définie par rapport à la puberté, la croissance répond à certaines lois.

- Loi des alternances : elle repose sur le fait que les parties du corps ou d'un membre n'évoluent pas toutes à la même vitesse. Par exemple, un os s'allonge et grossit alternativement et non simultanément.

- Loi des proportions : les différentes parties du corps ou organes ne se développent pas à la même vitesse. Par exemple, le cerveau atteint 80% de sa taille adulte dès 3 ans alors que l'appareil de reproduction n'est mature qu'à la puberté. Melkheir, (2016).

2.7. Technique de mesure de la croissance

Selon Desforts, (1994) : « les mesures de la croissance doivent être reportées à l'âge de l'enfant par l'utilisation des normes statistiques qui sont les percentiles et les écarts types mais il est indispensable de les comparer a des mesures faites antérieurement, et d'en suivre l'évolution. On mesure le poids, la taille, le périmètre crânien, le périmètre thoracique, le périmètre brachial et le pli cutané : ce sont des mesures biométriques ».

Van Praagh et al, (20008) l'anthropométrie est la technique de base la plus utilisée dans les études sur la croissance, elle est également très utilisée dans les sciences du sport. Le nombre de mesures faites sur un sujet est quasiment illimité. Cependant, la masse corporelle et la taille sont les mesures les plus corporelles au cours de la croissance. Le poids ou la masse corporelle est composée d'un certain nombre de tissus indépendants avec en particulier l'os, le muscle, la graisse et les viscères. D'autres dimensions, en plus du poids et de la taille, donneront des informations utiles sur la croissance d'un individu. La taille assise, ou mesure du segment supérieur, ou on apprécie la distance qui sépare le sommet du crâne et du tronc.

Duché et al, (2009) ont cités dans leur ouvrage les techniques de mesures de la croissance : l'anthropométrie est l'étude du control des accroissements dimensionnels dont l'objet est les mensurations corporelles. Chez l'enfant et l'adolescent la première courbe longitudinale de croissance staturale est attribuée à Buffon (publié dans histoire naturelle).

La biométrie, qui repose sur la mesure des caractéristiques physiques, établie à partir des mesures variables dites classiques telles que la taille, les périmètres, la longueur des segments..., les courbes de références permettent de suivre le développement de l'enfant jusqu'à l'âge adulte. L'augmentation importante de la surcharge pondérale et de l'obésité chez l'enfant a remis en lumière une des mesures anthropométriques principales : l'indice de « Quételet » ou l'indice de masse corporelle (IMC) la valeur d'IMC témoigne du statut pondéral ou de la catégorie de corpulence à laquelle il appartient.

2.8. Les courbes de croissance

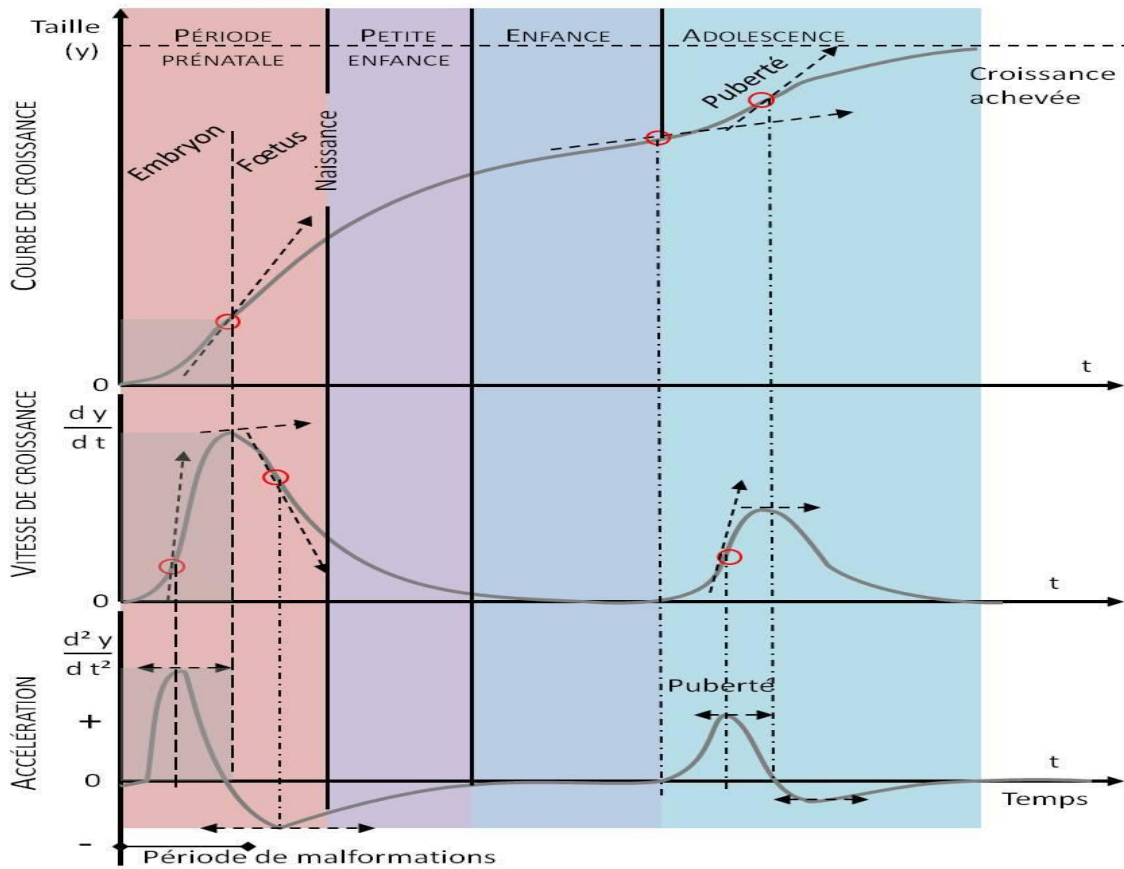


Figure 11 : Modélisation des différentes phases de la croissance, de sa vitesse et de son accélération au cours du développement de la fécondation à l'âge adulte d'après Pineau, (1965).

2.9. Régulation hormonale de la croissance

La croissance est influencée par de nombreux facteurs tels que les facteurs de croissance et plus particulièrement les hormones, notamment l'hormone de croissance (GH, Growth Hormone, somatotrophine, ou hormone somatotrophine), les hormones thyroïdiennes, les stéroïdes sexuels (androgènes et œstrogènes) entre autres Bogin, (1988) ; Nicolino et Forest, (2001) ; Sherwood 2006). La sécrétion de chacune de ces hormones est contrôlée par un système de régulation. La sécrétion de la plus importante d'entre elle, la GH, est également liée au cycle du sommeil ; généralement une heure après le début du sommeil profond, diminuant progressivement ensuite (Sherwood 2006). Les premières années de la croissance sont les plus sensibles et les plus critiques, il existe une relation forte entre croissance infantile et taux hormonaux Burns et al, (1981).

La GH est sécrétée en mode pulsatile depuis la glande pituitaire (ou hypophyse, glande endocrine située à la base du crâne, nichée dans la selle turcique de l'os sphénoïde). Elle stimule l'épaississement et l'allongement des os ainsi que l'activité des ostéoblastes et la prolifération des cellules des cartilages de croissance. Elle agit également sur les somatomédines (facteurs de croissance de type Insuline ou IGF, Insuline-like Growth Factor) Sherwood, (2006). Elle est régulée par deux peptides hypothalamiques, la GHRH (Growth Hormone Releasing Hormone) et la somatostatine (S – ou GHIH, Growth Hormone Inhibiting Hormone). La GHRH induit la synthèse et la sécrétion de la GH alors que la somatostatine en inhibe la sécrétion et est donc également impliquée dans la fréquence de sécrétion pulsatile de la GH. Un pic de sécrétion de GH est généré par une réduction du taux de somatostatine dans le système hypophysaire, associé à une augmentation de la concentration de GHRH Hindmarsh, (1998) ; Sherwood, (2006).

La GHRH induit la synthèse et la sécrétion de GH en se fixant sur un récepteur spécifique. La liaison de la GHRH avec son récepteur entraîne une série de réactions qui aboutit à la transcription du gène de la GH. Le schéma de la croissance d'un individu est lié au schéma pulsatile de sécrétion de GH. Il y a une relation dose dépendante entre la quantité de GH sécrétée sur une période de vingt-quatre heures et le taux de croissance de l'individu Hindmarsh, (1998).

Les récepteurs à GH sont présents dans la quasi-totalité du corps, ils induisent un large éventail de réactions incluant notamment la croissance des os longs. L'association de la GH avec son récepteur permet également la transcription d'IGF-1 (Insulin-like Growth Factor 1) dans le foie et sa sécrétion dans le sang Sherwood, (2006). La sécrétion de ce facteur de croissance conduit à l'expansion clonale des lignes de chondrocytes du cartilage de croissance et donc la croissance osseuse Hindmarsh, (1998).

Pendant la puberté, la croissance des os longs est toujours influencée par GH, IGF-1 et les stéroïdes sexuels, même si ce sont ces derniers (testostérone et œstradiols) qui sont responsables du pic de croissance pubertaire. Les hormones sexuelles influencent la sécrétion de GH au niveau hypothalamique et pituitaire. Testostérone et œstradiol augmentent l'amplitude des pulses de GH sans en altérer la fréquence Hindmarsh, (1998). De plus, l'œstrogène induit à terme la minéralisation des épiphyses Nicolino et Forest, (2001) ; Sherwood, (2006).

La vitesse de croissance est proportionnelle à la concentration de testostérone qui favorise la stimulation du cartilage de croissance par l'intermédiaire de la GH, et elle est négativement corrélée après le pic pubertaire et donc positivement liée à la fusion des épiphyses Zemel et Katz, (1986). Dans des conditions nutritionnelles favorables, la taille semble essentiellement régulée génétiquement Fischbein, (1983).

2.10. Facteurs de variabilité de la croissance (sexe, nutrition, variations séculaires, milieu socio-économique, activité physique)

Les variations populationnelles de taille ou d'accroissement sont dues à un ensemble de facteurs héréditaires et environnementaux Bogin, (1988). Même si la taille maximale à laquelle peut prétendre un individu est fixée héréditairement Gillot et Bernard, (1965) une grande variabilité est notée dans la taille de l'individu ou de ses parties. Dès le début de la croissance, la variabilité se matérialise par une répartition en éventail de la distribution des tailles. Une distribution gaussienne se retrouve à chacun des âges donnés Pineau, (1965).

Une certaine différence est notée entre la taille adulte des filles et des garçons. Elle est due à la durée de la période de l'enfance, plus courte chez les filles. Le gain de taille à la puberté ne représente respectivement que 7 et 9 % de la taille totale de l'individu. La période pubertaire arrivant plus tôt chez les filles, la croissance s'arrête également plus tôt. Elle est vue comme un régulateur de la cessation de croissance plus qu'un facteur influençant le gain de taille Karlberg, (1998). La maturation pubertaire commence de façon variable de 9 à 15 ans chez les filles et de 11 à 18 ans chez les garçons Maresh, (1970).

Des groupes d'origine géographique différente, dans un contexte socio-économique et environnemental semblable, présentent des moyennes de tailles équivalentes. Cependant, des variations au niveau des proportions des parties du corps sont observables. Seule une origine génétique de cette variabilité explique ces différences dans la taille des segments Bogin, (1988). Avant l'adolescence la croissance est plus sensible à l'environnement. Des enfants issus de populations ayant des potentiels génétiques différents, mais vivant dans des environnements similaires, tendent à avoir la même taille. Pendant l'adolescence, les déterminants génétiques de la croissance sont plus exprimés et les différences entre populations sont visibles pour un même environnement. Il y a moins de variation pour un même contexte socio-économique, alimentaire, environnemental pendant l'enfance que pendant l'adolescence d'un individu, impliquant à nouveau l'aspect génétique Frisancho et al, (1980) ; Kimura, (1984). Tout cela reste sous le joug de l'évolution Bogin, (1988).

En dehors de la régulation intrinsèque hormonale, des variations dues au sexe et à l'origine géographique (génétiquement contrôlées), de nombreux autres facteurs peuvent influencer la croissance. Pour les plus importants, il s'agit de la nutrition, des infections, des stress environnementaux et des stress sociaux. Les comportements culturels peuvent également influencer la croissance Johnston, (1998).

La malnutrition entraîne des retards de croissance et de maturation Frisancho et al, (1970) ; Bogin et Macvean, (1983). Le bon déroulement de la croissance nécessite l'apport suffisant de quarante-huit éléments essentiels Guthrie, (1986). Des carences en ces éléments peuvent être la cause de retard ou de dysfonctionnements (e.g. carence en iode, Greene, (1973). Les périodes de sous-alimentation ou de famine survenant lors d'épisodes de conflits ou de guerre, ont entraîné des ralentissements dans la croissance des individus et des diminutions des moyennes de la taille adulte Markowitz, (1955) ; Billewicz et McGregor, (1982) ; Kimura, (1984). Le lien entre saison et qualité et/ou quantité de nourriture a également montré son importance dans les variations de croissance Billewicz et McGregor, (1982). L'action de la nutrition sur la croissance n'aura pas le même impact pour toutes les périodes de développement, les besoins énergétiques sont variables en fonction de l'âge. La période de la petite enfance est essentiellement contrôlée par la nutrition, les besoins spécifiques à la croissance représentent 44 % des apports à l'âge de 3 mois mais seulement 2 % à l'âge de 2 ans Susanne, (1993). Sans aller jusqu'à une alimentation réduite entraînant des carences, un apport calorique insuffisant aura également des effets négatifs sur le développement Bailey et al, (1984). Alors, même si la relation entre nutrition et croissance est évidente, elle reste tout de même complexe puisque l'alimentation se définit culturellement Susanne, (1993). L'alimentation est un lien entre le contexte socio-économique et la croissance. Des relations entre salaire et comportements alimentaires ont été montrées même si à l'heure actuelle, elles tendent à diminuer surtout entre les milieux urbains et ruraux. De même, l'évolution des pratiques alimentaires (apports de minéraux, augmentation de la consommation en sucre, changement de la part protéique, etc.) conduit à des variations dans les schémas de croissance Takahashi, (1984) ; Froment, (1986).

Des variations séculaires sont démontrées au niveau des processus de croissance et du gain de taille, elles entraînent un gain de 2 cm tous les 10 ans et une avance de l'âge de la puberté Maresh, (1970) ; Deheeger et Rolland-Cachera, (2004) conduisant à un contrôle de la taille maximale pouvant être atteinte Pineau, (1965). Une réduction de l'écart de taille entre les individus de classes sociales extrêmes a été démontrée entre les années 1960 et

1980 entraînant un rattrapage de la taille des individus moins aisés. Cependant le taux d'évolution séculaire n'est pas similaire pour toutes les catégories sociales Vercauteren, (1993). L'augmentation de la stature tend à stagner, une augmentation totale de 10 cm en moyenne en 90 ans a été relevée, avec un accroissement linéaire de 1900 à 1960, et une diminution de l'accroissement des années 1960 à 1990 avec gain de 7 mm tous les 10 ans. Il semble que ce ralentissement tend vers une asymptote ; des variations régionales sont notées Pineau, (1993). Buffon, dans son Histoire naturelle de l'homme, avait déjà mis en évidence qu'au même âge, les enfants contemporains étaient plus grands que ceux des générations passées. Ils présentent une avance de l'âge de la puberté, la taille adulte est seulement plus vite atteinte, touchant plus les milieux socio-économiques défavorisés Pineau, (1965).

D'autres facteurs plus minoritaires tels que l'activité physique peuvent avoir une influence. Un entraînement sportif régulier n'a pas d'effet apparent sur la stature atteinte et le taux de croissance à quelques exceptions près, même s'il semble qu'avoir une activité régulière améliore la minéralisation osseuse. De jeunes athlètes pratiquant des sports différents montrent des variations de leur maturité squelettique et tendent à avoir un âge squelettique en avance sur l'âge chronologique. Les danseuses ou les gymnastes, par exemple, sont en retard sur leur âge chronologique, à l'inverse des nageuses Malina, (1998).

Chacun de ses facteurs pris séparément peut avoir une influence ou une action directe sur la croissance, cependant la plupart du temps il s'agit d'une combinaison de deux ou plusieurs qui entraîne de véritable dérèglement des rythmes de croissance King et Ulijaszek, (1999). Selon Bogin, (1988), il est faux de considérer que l'un des facteurs génétiques ou environnementaux est plus important que l'autre dans son impact sur la croissance humaine. Tous ces éléments sont étroitement liés et dépendent les uns des autres.

3. La maturation

La croissance rend compte de l'aspect dynamique du développement, mais elle ne suffit pas à expliquer la mise en jeu fonctionnelle d'un système, ni de son adaptation progressive. La croissance est de ce fait un processus d'augmentation dans le temps (quantitatif), tandis que la maturation est un processus de transformation dans le temps (qualitatif). Les plus grandes modifications se font au cours d'une étape de transition qui se situe entre l'enfance et l'âge adulte.

La maturation est l'ensemble des changements que présente une personne humaine tout au long de son enfance et de son adolescence, depuis sa conception jusqu'à l'âge adulte ou elle atteint sa maturité.

La maturation varie selon le système corporel impliqué. Les études concernant l'enfant et l'adolescent se focalisent surtout sur la maturation osseuse, sexuelle et somatique. La maturation doit être étudiée selon deux concepts qui sont : le « timing » et le « tempo ». Le timing fait référence à l'apparition d'un événement lié à une maturation spécifique. Par exemple : l'apparition de poils pubiens chez la fille ou le garçon ou l'atteinte du pic de croissance au cours de la phase pubertaire. Le tempo fait référence à la vitesse de progression de la maturation. Par exemple, à quelle vitesse (rapide ou lente) l'enfant passe du stade initial de sa maturation sexuelle au stade terminal. Ces deux processus varient considérablement selon les différents individus. E. Van Praagh, (2008).

3.1. La puberté

Du latin pubère, littéralement se couvrir de poils. Il s'agit d'une période (plus ou moins de 03 ans) de transition qui inclut l'apparition des caractères sexuels secondaires, la maturation du système de reproduction ainsi que l'accélération des caractères somatiques de type infantile aux caractères somatiques de l'adulte. Ces transformations s'amorcent à la puberté et se complètent dans l'adolescence.

- Fille : période pré-pubertaire de 09 à 12 ans ; période pubertaire de 12 à 14 ans,
- Garçon : période pré-pubertaire de 11 à 14 ans ; période pubertaire de 14 à 17 ans.

Il faut observer que la classification d'un enfant dans la catégorie pré-pubertaire ou pubertaire est purement conventionnelle car compte tenu des grandes variations individuelles, l'âge chronologique n'est pas un indicateur pubertaire pertinent. L'horloge biologique tourne à des vitesses différentes selon les individus.

Rowland, (2010) la puberté est la succession de changements anatomiques et physiologiques durant l'adolescence qui marquent la transition entre l'immaturité sexuelle et la fertilité. Cette période se caractérise non seulement par le développement de la fonction reproductrice mais également par des modifications de la taille, de la composition corporelle et des fonctions physiologiques en réponse aux actions des hormones sexuelles, œstrogène chez les femmes et testostérone chez les hommes. Les sécrétions de ces deux stéroïdes sexuels sont soumis à un contrôle de base similaire, mais avec des résultats très différents expliquant la différenciation sexuelle observée à l'adolescence. La puberté conduira ainsi à

une accumulation des graisses et une maturation osseuse chez les femmes à une croissance en longueur et un accroissement de la masse musculaire chez l'homme.

La puberté des garçons débute plus tardivement que celle des filles (environ deux ans plus tard). La concentration plasmatique de testostérone (principale hormone androgène masculine) est basse durant la pré-puberté. L'élévation rapide de testostérone coïncide avec la poussée de croissance observée à l'adolescence. Les concentrations de testostérone à l'âge adulte sont généralement 20 fois plus élevées que celles à la puberté.

La maturation décrit les différentes étapes qui conduisent un tissu, ou un système, au stade de fonctionnement adulte. La maturation squelettique est atteinte lorsque tout le squelette s'est normalement développé et se trouve totalement développé et ossifié. La maturation sexuelle est atteinte lorsque l'individu possède la capacité de se reproduire. Le degré de maturation d'un enfant ou d'un adolescent est défini par :

- L'âge chronologique : doit être calculé en mois, le jour de naissance correspond au jour anniversaire exacte : un enfant née le premier janvier 1986 aura 01 an le premier janvier 1987.
- L'âge biologique : qui correspond à l'âge osseux et le niveau de maturation sexuelle Kenney et al, (2013).

La détermination de l'âge osseux permet d'apprécier la maturation globale de l'organisme. Il permet surtout d'interpréter les résultats des dosages des différents paramètres hormonaux de l'axe gonadotrope, en sachant que les gonadotrophines restent dans des valeurs basses pré-pubertaires tant que l'âge osseux n'atteint pas 11 ans chez les filles. Donc à partir d'un âge osseux supérieur à 11 ans que les dosages de LH et de FSH pourront être utilisés et interprétés Thierry, (2012).

Tableau 1: Exemple de variation de la taille (variation gaussienne) chez 100 garçons âgés de 9 ans.

Centiles		
3	3G	Mesurent 120 cm
10	10G	Mesurent 124 cm
25	25G	Mesurent 128 cm
50	50G	Mesurent 131 cm
75	25G	Mesurent 136 cm
90	10G	Mesurent 139 cm
97	3G	Mesurent 143 cm

3.2. Etude de la maturation

Les indicateurs les plus usuels incluent la maturation osseuse ou squelettique, sexuelle et somatique.

3.2.1. La maturation osseuse ou squelettique

L'évaluation de la maturation osseuse est fondée sur les changements du squelette qu'on observe à l'aide de radiographies du poignet et de la main (à gauche par convention), sachant que la maturation osseuse est l'indicateur le plus usuel.

D'après Greulich, Pyle, (1950) « les changements (accroissements de chaque petit os à partir de l'ossification initiale jusqu'à la morphologie adulte apparaissent dans un ordre irréversible. Il s'agit de véritables indicateurs de maturité ».

De nombreuses méthodes de détermination de l'âge osseux ont été proposées, chacune étant basée sur l'étude de la maturation d'un ou de plusieurs cartilages de conjugaison.

Certaines d'entre elles sont devenues des méthodes de référence, regroupant les critères suivants Schmerling, (2008).

- L'échantillon doit être de taille suffisante, avec une répartition égalitaire par âge et sexe,
- L'âge chronologique des sujets doit être connu,
- La date de l'analyse, l'origine géographique

Ainsi que le statut socio-économique des sujets étudiés doivent être précisés,

- Des analyses doivent avoir été faites séparément pour chaque sexe, car les phénomènes de maturation osseuse sont plus précoces chez les femmes que chez les hommes, quel que soit l'os étudié,
- Les écarts-types doivent être précisés pour chaque résultat.

L'ossification de la main est considérée comme un reflet représentatif de la maturation osseuse de la totalité du squelette Schmidt, (2008), car la région de la main et du poignet possède un nombre important de centres d'ossification isolables, permettant d'étudier un maximum d'indicateurs avec un minimum d'irradiation. Les conclusions de l'étude de plusieurs os de la main et du poignet sont suffisantes pour avoir une idée générale de l'ossification et s'approcher avec une certaine précision de l'âge biologique. L'analyse simultanée de plusieurs os de la main est facile sur une radiographie conventionnelle et permet d'affiner la corrélation entre l'âge osseux ainsi déterminé et l'âge chronologique. Plusieurs méthodes ont été développées, celle de Greulich et Pyle étant la plus utilisée.

3.2.1.1. Méthode d'évaluation de la maturation osseuse (MELKHEIR)

A. La méthode de l'Atlas de Greulich et Pyle

Van Praagh, (2007) : « la méthode consiste à comparer un cliché radiographique actuel d'un enfant avec une série de clichés standards (d'où le nom atlas), cette dernière correspond à des niveaux successifs de maturation osseuse et est exprimée en âge osseux (AO) pour un âge chronologique (AC) donné. Il s'agit d'une table de référence d'utilisation aisée, mais dont la précision a été souvent critiquée par Sempé et Pavia. Elle permet surtout d'identifier des sujets qui sont ou très avancés ou très retardés dans leur maturation osseuse ».

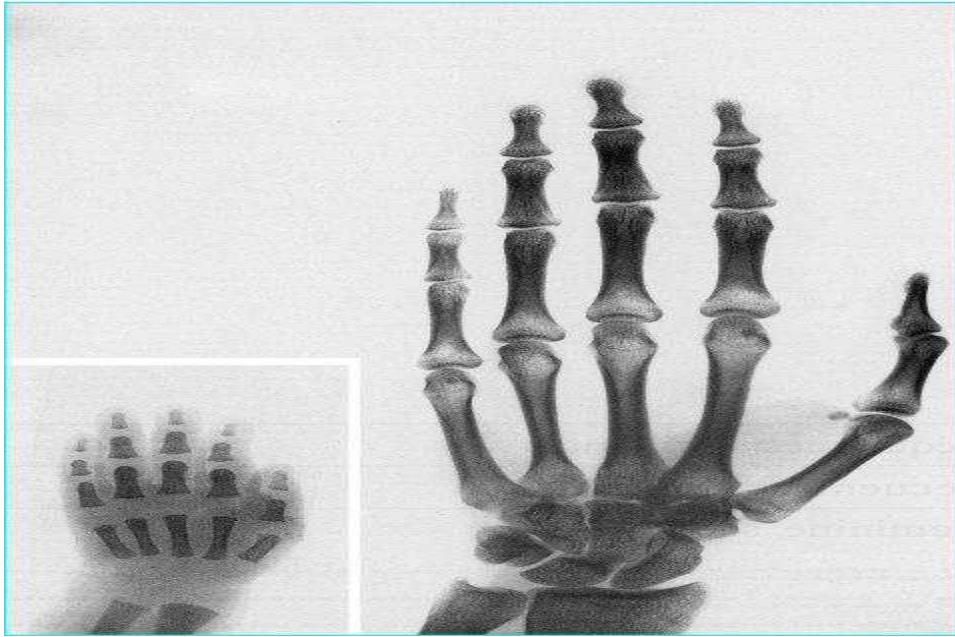


Figure 12 : La main et le poignet d'un bébé et d'un adulte

B. La méthode de l'Atlas de Sempé et Pavia

Pour Sempé, Pavia, (1979) « cet atlas est unique en son genre. Il présente des radios de main et de poignet de quatre garçons et quatre filles suivie de la naissance à la fin de la période pubertaire et à l'intervalle précis, choisis parmi un très grand nombre d'enfants (497) au début, moins par la suite, au fil des ans, examinés dans les mêmes conditions. Ils correspondent à des exemples individuels proche à la moyenne et cheminant sans anicroche, au plus près des rythmes de référence tels qu'ils sont apparus grâce à notre analyse méthodologique ».

C. La méthode numérique de Tanner-Whitehouse

Elle étudie les phases séquentielles de maturation de 20 os du poignet et de main. Chaque accroissement d'un os reçoit une cotation et la somme de 20 cotations sera convertie en âge osseux. La société française d'auxologie a développé un logiciel nommé MATUROS qui permet d'évaluer l'âge biologique d'un enfant à partir de l'image radiologique de sa main et de son poignet.

Le professeur André Labé, (2003) qui parle des facteurs intervenant dans la maturation, les résultats sont comme suit:

- Facteurs constitutionnels : génétiques et facteurs de développement, structure osseuse et cartilage de conjugaison.

- Facteurs énergétiques : apport nutritionnel, absorption des nutriments, équilibre du milieu intérieur, appareils pulmonaire et cardiaque.
- Facteurs endocriniens : hormone de croissance, hormones thyroïdiennes, cortisol et hormones sexuelles (œstrogènes et testostérone).
- Facteurs psychologiques.

3.2.2. La maturation sexuelle

L'évaluation de la maturation sexuelle est fondée sur les apparitions successives des caractères sexuels secondaires à savoir : les seins chez la fille, le développement du pénis et des testicules chez le garçon et les poils pubiens et axillaires dans les deux sexes. L'âge des premières règles (ménarche) est par ailleurs souvent utilisé en particulier chez la fille sportive. L'utilisation des caractères sexuels secondaires se limite essentiellement à la phase de croissance pubertaire.

3.2.2.1. Caractères sexuels secondaires

Il s'agit avant tout de l'étude du développement des seins, de l'appareil génital (pénis et testicules) et de la pilosité pubienne. La méthode utilise des critères mis au point par Tanner, (1962) et comporte cinq stades :

- Stade 01 : indique que l'enfant est pré pubère, c'est-à-dire absence totale de signes cliniques de caractères sexuels secondaires.
- Stade 02 : montre une apparition initiale de maturation de certains critères telle une élévation de la glonde mammaire chez la fille, un élargissement de l'appareil génital chez le garçon et l'apparition de pilosité pubienne dans les deux sexes.
- Stades 03 et 04 : indiquent une évolution continue dans le développement des différents critères. Ces évolutions sont cliniquement parfois plus difficiles à appréhender.
- Stade 05 : indique que le sujet a atteint le stade adulte du développement de tous ses critères sexuels secondaires.

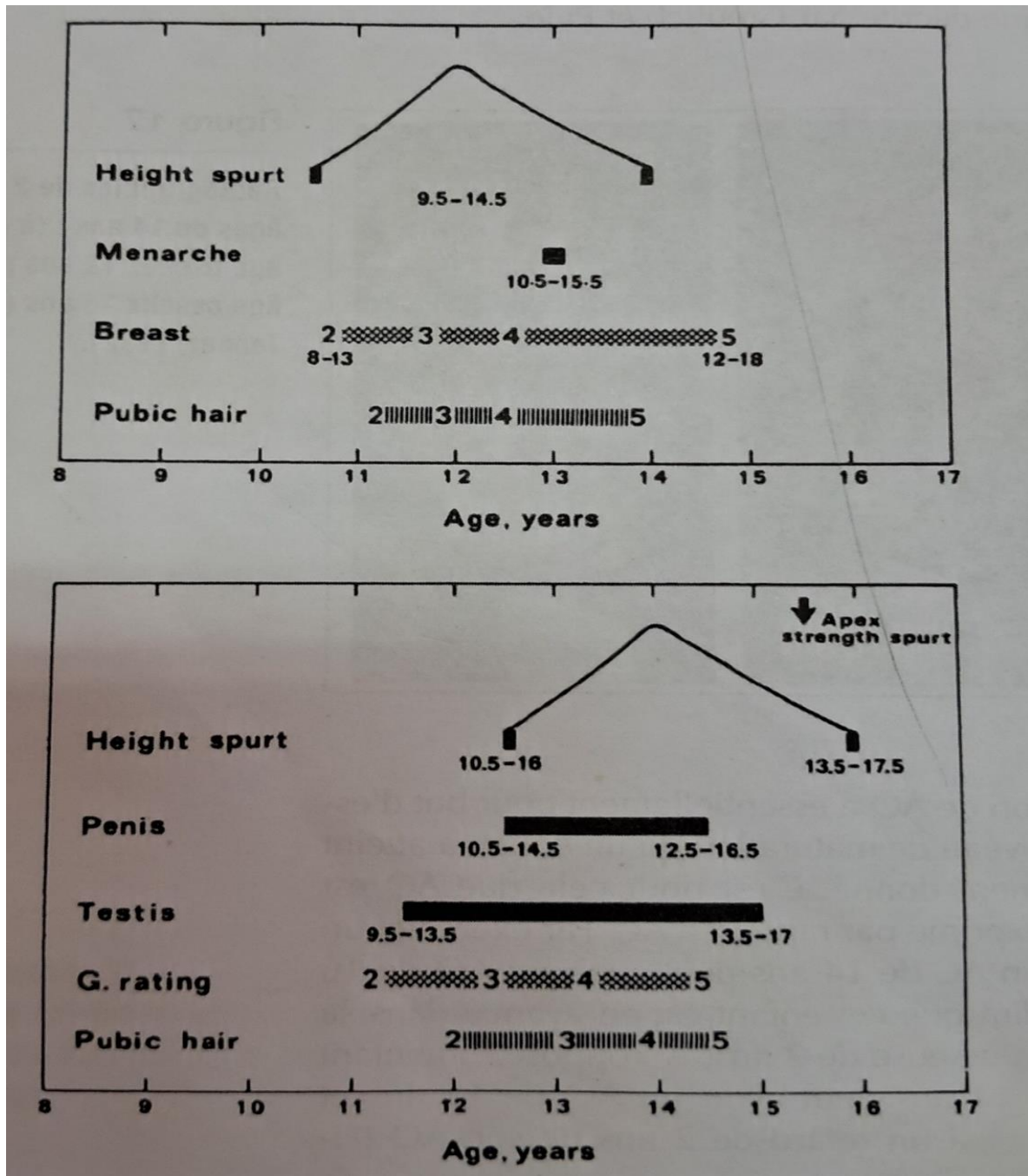


Figure 13 : Séquence de l'évolution des différents caractères sexuels secondaires chez la fille (en haut) et le garçon (en bas) d'après Marshall et Tanner, (1970).

En pratique, une fille peut être classée stade 02 pour le développement des seins et seulement en stade 01 pour la pilosité pubienne. Ainsi la maturation des glandes mammaires peut avoir commencé, tandis que la pilosité pubienne est encore absente. De même, un garçon peut démarrer sa puberté par un élargissement de son appareil génital et n'être qu'au stade 01 pour sa pilosité pubienne. Chez le garçon, l'élargissement de son appareil génital est la plupart du temps le premier signe de sa maturation sexuelle.

La maturation des caractères sexuels secondaires est un processus en évolution continue et sur lequel les 05 stades sont « surimposés ». Le classement en cinq stades peut de ce fait paraître un peu arbitraire. De même on trouve parfois dans des articles à la section méthode, la phrase suivante : « le sujet a été classé selon les stades de Tanner ». Cela est une erreur manifeste, car il ne s'agit évidemment pas des stades du Dr. Tanner, mais des stades de maturation spécifique. En pratique on doit donc noter qu'un adolescent a atteint, par exemple, le stade « génital » 04 ou le stade de pilosité pubienne 03.

3.2.2.2. Auto-évaluation des caractères sexuels secondaires

Compte tenu de la difficulté d'estimer les caractères sexuels secondaires des sujets impliqués dans un projet de recherche non-clinique (éducateur physique, entraîneur), il est possible de demander à l'adolescent de s'auto-évaluer grâce à des illustrations des stades de maturation Schloss-berger, (1992), Matsudo, (1994), De França, (1999). Il existe aujourd'hui encore peu d'études ayant mis en relation les résultats de l'auto-évaluation avec des évaluations cliniques. Il semble qu'il existe une tendance chez les jeunes à surestimer les premiers stades et sous-estimer les derniers stades de maturation.

3.2.2.3. La ménarche

Il s'agit de la première période menstruelle. Il s'agit de l'indicateur qui est le plus rapporté dans des études concernant la puberté féminine. Il existe 03 méthodes permettant d'estimer l'âge de la ménarche :

- La méthode prospective : est fondée sur des études longitudinales sur base desquelles les filles sont interrogées tous les 03 mois.
- La méthode dite du « statu quo » : cette méthode transversale est utilisée dans une grande population de filles âgées de 9 à 17 ans. Pour chaque âge, la question « si la personne a eu ses premières règles ? » est posée en terme de : oui ou non.
- La méthode rétrospective : consiste à se rappeler à quel âge la ménarche est apparue.

La figure 14 montre clairement que la ménarche ne peut être considérée comme un indicateur de début de la phase pubertaire. Il s'avère que pour une moyenne d'âge de 13 ans, la fille a déjà dépassé son pic de croissance.

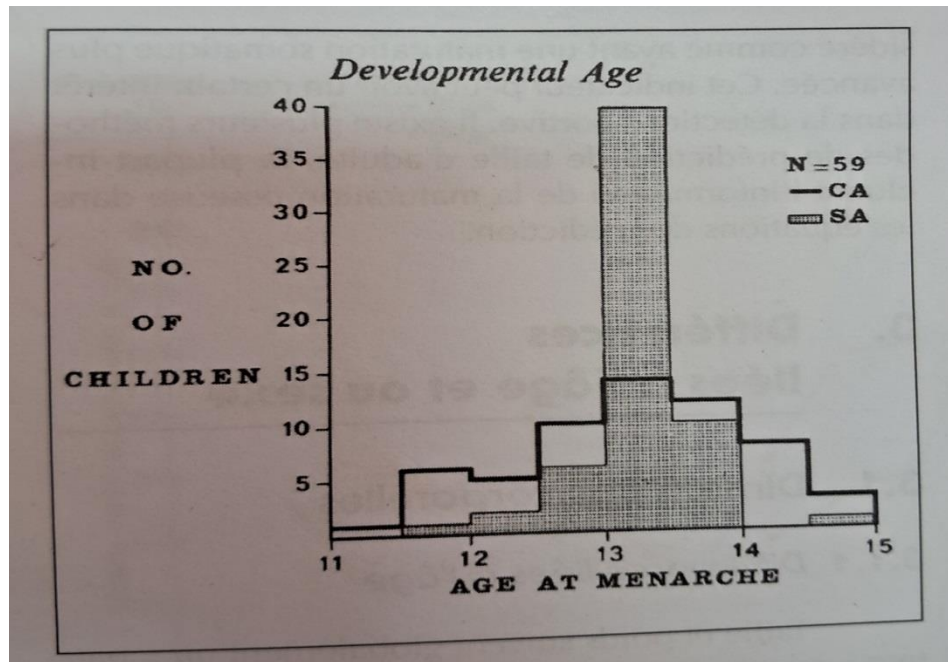


Figure 14 : Distribution de l'âge de la ménarche selon l'âge chronologique (CA) ou l'âge osseux (SA) d'après Marshall, (1974), reproduite dans Tanner, (1982).

3.2.3. La maturation somatique

La mesure longitudinale de la taille debout ou de la masse corporelle forme la base de l'évaluation de maturation somatique.

3.2.3.1. Age du pic de croissance staturale : (en anglais : Peak height velocity) ou pic de croissance pondérale : (Peak weight velocity).

Le pic de croissance staturale (PCS) indique le taux de croissance maximale atteint au cours de la phase (« sprint ») pubertaire. L'âge pendant lequel le PCS est atteint est un des indicateurs de la maturité somatique. La courbe indique successivement : une phase ascendante, ce qui représente l'initiation de l'accélération pubertaire, suivie du pic de croissance staturale ou pondérale (figure 15 et 16), puis enfin une phase de décélération jusqu'à l'âge de la fin de la maturation somatique.

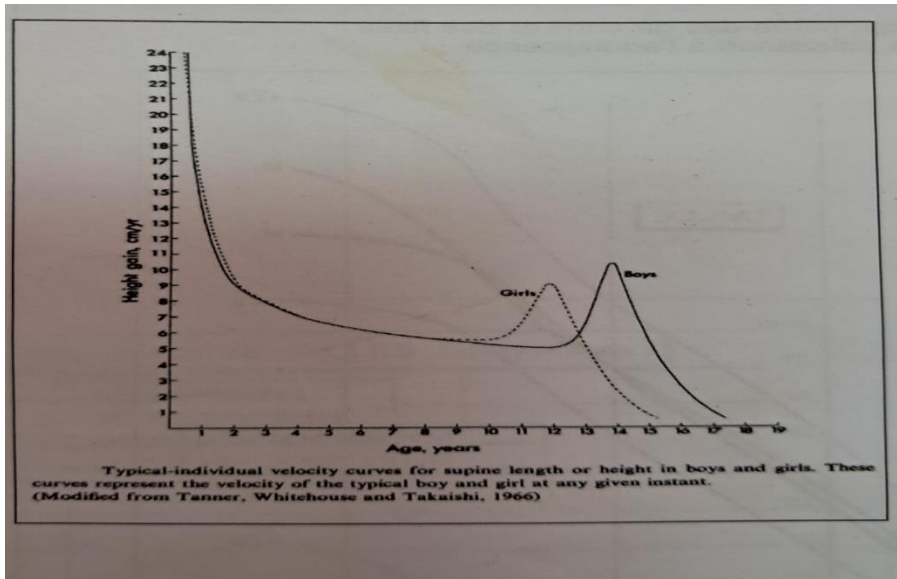


Figure 15 : Pic de vitesse de croissance/sexe, courbe individuelle de la taille debout (cm/an) d'une fille et d'un garçon suivis longitudinalement Tanner, (1982).

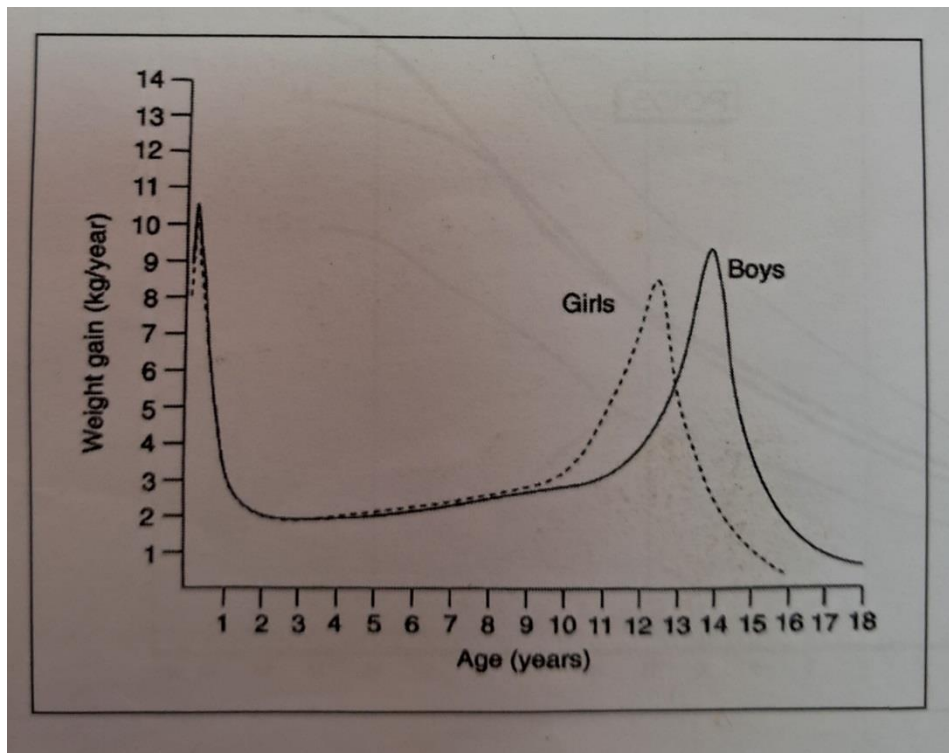


Figure 16 : Courbe individuelle de la masse corporelle (kg/an) d'une fille et d'un garçon suivis longitudinalement Tanner, (1982).

3.2.3.2. Age statural

Le pourcentage de taille adulte atteint pour un âge chronologique donné peut être utilisé comme un indicateur de maturation somatique. Les enfants qui sont proches d'une

taille adulte par rapport à d'autres enfants pour un même âge chronologique seront considérés comme « avancés » dans leur maturation somatique. Exemple : deux garçons de 9 ans ont atteint la même taille de 129 cm. Cependant, pour le premier cette taille représentera 75% de sa taille définitive d'adulte, tandis que pour le second cela ne représentera que 69%.

Le premier est considéré comme ayant une maturation somatique plus avancée. Cet indicateur peut avoir un certain intérêt dans la détection sportive. Il existe plusieurs méthodes de prédiction de taille d'adulte, la plupart incluent l'information de la maturation osseuse dans les équations de prédiction.

Chapitre III

Effet de l'activité physique sportive compétitive sur la maturation biologique

1. L'activité physique

1.1. Terminologie

L'APS est définie comme tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques et se traduisant par une dépense énergétique. Les différents types d'AP sont les suivantes : les activités de loisir (structurées ou non), les activités domestiques, les activités de transport et les activités professionnelles (l'école ou le travail). E. Van Praagh, (2008).

1.1.1. La dépense énergétique

La dépense énergétique totale (DET) d'un individu sédentaire est égale au niveau métabolique au repos (NMR) + la thermogenèse induite par l'alimentation (TIA) + la dépense énergétique induite par l'AP (DEAP). Le niveau métabolique au repos représente 60-75% de DET. TIA représente 10% de DET. L'AP représente 15-30% de DET, chez le sédentaire.

1.1.2. Le niveau métabolique de repos

Le NMR est la somme d'énergie requise pour maintenir un fonctionnement normal de la personne au repos. Il est mesuré par calorimétrie indirecte, 3-4 heures après un repas. Le NMR est affecté par l'hérédité, la composition corporelle, le sexe, l'âge, les facteurs environnementaux et la nutrition.

1.1.3. La dépense énergétique liée à l'activité physique

Elle est influencée par la masse corporelle et par l'efficacité du mouvement du sujet. La DEAP est plus élevée chez les sujets ayant une masse corporelle importante (cela coûte plus de mouvoir un corps plus corpulent). De plus, elle ne reflète pas l'intensité de l'AP. E. Van Praagh, (2008).

1.1.4. Le niveau d'activité physique

Le niveau d'activité physique (NAP) est un index d'une dépense énergétique relative à une AP sur une période de 24h (tableau 02). Il se calcule de la manière suivante : $NAP = DET / NMR$. Comme la variation de DET est dépendante des dimensions corporelles et de l'AP, il est utilisé de manière à ajuster les différences interindividuelles avec l'âge, le sexe, la composition corporelle est la masse corporelle. NAP augmente avec l'âge pour les deux sexes 3 à 16 ans. Il est dépendant de la dimension corporelle et peut alors ne pas refléter la somme totale d'AP chez l'enfant, pendant la croissance. Les valeurs de NAP pour une AP

habituelle chez des enfants et adolescents sont présentées dans le tableau 02. E. Van Praagh, (2008).

Tableau 2: Valeurs du niveau d'activité physique pour une activité physique habituelle chez des enfants et adolescents adapté de Torun et al, (1996).

Âge (années)	1-5		6-13		14-18	
Sexe	M et F		M	F	M	F
Activité légère	1,45		1,55	1,5	1,6	1,45
Activité modérée	1,60		1,75	1,7	1,8	1,65
Activité intense			1,95	1,9	2,05	1,85

1.1.5. L'exercice

Un exercice est un type spécifique d'AP qui est planifié, structuré et réalisé de façon répétitive pour augmenter ou maintenir la condition physique.

1.1.6. La condition physique

La condition physique est une série de qualités physiques relatives à la sante ou à la performance et n'est pas synonyme de l'AP.

1.2. Caractéristiques de la pratique physique de l'enfant et de l'adolescent

Pour déterminer les caractéristiques de l'activité physique des jeunes français, les indicateurs d'un comportement actif ou sédentaire choisis sont ceux du Plan National Nutrition Santé.

Les principales caractéristiques du profil d'activité physique de l'enfant et de l'adolescent sont les suivantes.

Les exercices intermittents de très courte durée représentent la forme spontanée d'activité physique du jeune enfant. Avec la croissance, ce type d'exercice laisse peut a peut la place à des activités de plus faible intensité mais de durée plus importante.

- Les garçons présentent un volume de pratique physique (fréquence x durée des sessions) significativement plus important que les filles, quel que soit l'âge.
- La baisse d'activité physique est la plus significative au moment de l'adolescence.
- Les activités d'intensité élevée sont de moins en moins pratiquées avec l'âge chez la fille comme chez le garçon.

Concernant les indicateurs de sédentarité, un temps moyen de 03 heures par jour passé devant un écran est observé chez les enfants âgés de 03 à 17 ans, quel que soit le jour (école ou repos). En moyenne, et quel que soit l'âge, les filles passent autant de temps devant un écran que les garçons (02h 56 et 03h 07°, respectivement).

Ce temps de sédentarité augmente avec l'âge, chez les filles et chez les garçons, l'écran d'ordinateur remplaçant avec l'âge l'écran de télévision.

Aujourd'hui, tous les acteurs du monde médical et éducatif doivent engager les jeunes à pratiquer une activité physique et à limiter les activités sédentaires.

1.2.1. Caractéristiques de l'activité physique

L'AP se caractérise par sa fréquence, sa durée et son intensité. La fréquence se réfère au nombre d'évènements d'AP pendant une période spécifique de temps. La durée se réfère au temps, secondes, minutes ou heures, passé lors d'une seule période d'AP. L'intensité se réfère à l'effort physiologique associé à la participation dans un type particulier d'AP. L'intensité absolue représente le niveau réel de la dépense énergétique pendant une durée spécifique de temps. L'intensité relative représente le niveau d'intensité exprimée en relation avec la consommation maximale d'oxygène pour une activité spécifique. Elle prend en compte les différences interindividuelles de la composition corporelle, du sexe et du niveau de condition physique. Elle s'exprime en pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (FC max), de la réserve de consommation d'oxygène (RVO₂) ou de la réserve de FC (RFC), en multiple de la FC de repos, ou en pourcentage du VO₂max. La quantification de l'intensité de l'AP est présentée dans le tableau 03. E. Van Praagh, (2008).

Tableau 3: Quantification de l'intensité de l'activité physique

Quantification de l'AP	Unité
Le coût de l'activité métabolique divisée par le niveau métabolique de base (1 MET = 3,5 mlO ₂ .min ⁻¹ ou 1cal. kg ⁻¹ .min ⁻¹ ou 4,1J. kg ⁻¹ .min ⁻¹)	METs
Le niveau d'activité en METs * minutes d'activité	MET minutes
Dépense énergétique totale ou liée à l'AP	kcal.min ⁻¹
Niveau d'AP	
% du $\dot{V}O_2$ max (relation fréquence cardiaque (FC) et consommation d'O ₂)	FC cible en bpm
% de fréquence cardiaque maximale (FCmax)	bpm
% Réserve de Fréquence Cardiaque (FCmax – Fréquence cardiaque de repos)	bpm
Multiple de la FC de repos	bpm
Temps passé dans une AP à un certain niveau d'intensité	min.j ⁻¹
Nombre total de <i>counts</i> , unité de mesure arbitraire utilisée avec l'accélérométrie	« counts »

L'AP se classe selon différentes intensités : sédentaire, légère, modérée, intense et très intense sur la base du METs (équivalent métabolique pour chaque AP spécifique). Cette classification faite chez les adultes est généralement reprise chez les enfants et les adolescents, bien qu'elle ait certaines limitations. La dépense énergétique par unité de masse corporelle est plus élevée chez l'enfant et l'adolescent. Une classification adaptée pour les enfants et adolescents est présentée dans le tableau 04 suivant les différentes limites présentées dans la littérature Bailey et al, 1995 ; Stratton, (1996) ; Trost et al, (1998) ; Ekelund et al, (2004). Dans la majorité des articles, les auteurs parlent aussi d'activité physique de modérée à intense (intensité comprise entre 03 et 06 METs).

Tableau 4: Classification des activités physiques suivant leur intensité d'après Bailey et al, (1995), Stratton, (1996), Freedson et al, (1998), Ekelund et al, (2004).

Intensité	METs	FC (bpm)	« Counts ». min ⁻¹	% RFC	Multiples FCrepos	% $\dot{V}O_2$ max	Exemples
Sédentaire	1	80	< 500				Station assise
Légère	≤ 3	< 140	> 500	< 50 %	1,25		Stretching
Modérée	> 3	140	> 1956	50 %	1,50	50 %	Marche
Intense	> 6	160	> 5260	60 %	1,75	70 %	Course à 5 km.h ⁻¹
Très intense	> 9	175	> 9480	75 %			Course à 7-8 km.h ⁻¹

1.3. La mesure de l'activité physique

La quantification de l'AP des enfants et adolescents, dans des conditions habituelles de vie, peut se réaliser à l'aide de diverses méthodes. L'observation directe, la méthode de l'eau doublement marquée et la calorimétrie indirecte sont considérées comme des méthodes de référence. L'utilisation d'accéléromètres et celle de cardiofréquencemètres sont des méthodes secondaires qui permettent également une mesure objective de l'AP. Les enquêtes, questionnaires auto-administrées, interviews et agendas sont également utilisées, mais donnent des mesures subjectives qui ne sont pas toujours exploitables, notamment chez les enfants. L'endroit et le moment où les enfants sont engagés dans une AP doivent être également signifiés de façon précise lors de chaque recherche.

1.4. Les patterns d'activité physique chez l'enfant

Il est de plus en plus admis que l'AP habituelle des enfants de l'enfance à l'adolescence a un impact important sur la santé à court et à moyen terme. Dans une revue de littérature consacrée aux relations entre AP et santé, Biddle et al, (2004) ont insisté sur une meilleure compréhension de l'AP chez les jeunes. Pour établir les liens entre AP, santé et maladie, ils se prononcèrent pour une évaluation plus précise de l'AP et une détermination plus objective des patterns d'AP des enfants. La nature de l'AP chez les enfants est intermittente et caractérisée par des brusques changements entre des périodes de repos et des périodes d'AP intense, qui rendent d'autant plus difficile l'observation et la quantification de l'AP en termes d'intensité et de durée.

Chez les enfants pré-pubères, la durée moyenne des activités physiques d'intensité légère et modérée était de 06 secondes et que 95% des activités intenses duraient moins de 15 s avec une moyenne de 03 secondes. Généralement, chez les enfants, aucun temps d'exercice continu n'excède 10 minutes et la moyenne d'une période d'AP est de 20 secondes. Utilisant les accéléromètres, Baquet et al, (2007) ont reporté des résultats identiques. Utilisant un échantillonnage de 02 s afin de mieux discriminer les patterns d'AP des enfants, ils ont pu ainsi déterminer que l'AP intense et très intense représentait 36% de la somme d'AP journalière. Une étude canadienne précise que la grimpe, la course, les sauts, le vélo, la nage et la glisse, ou encore la marche, les jeux, l'imaginaire ou les jeux de ballon domine les premières années de la vie. Cependant, le temps passé dans une AP modérée n'est que faiblement corrélé aux performances relevées dans les capacités motrices fondamentales (sauter, lancer un ballon, frapper dans une balle, tenir en équilibre, sautiller). Les types d'AP et leur contexte changent de l'enfance à l'adolescence. A la puberté (10-14

ans, les patterns moteurs développés au cours de l'enfance sont intégrés et coordonnés dans des mouvements plus complexes et spécialisés, dans une variété d'AP individuelles, collectives ou sportives. L'AP devient plus structurée, moins spontanée. Cependant, si les activités physiques ont, pendant l'enfance, pour objectif le développement des patterns moteurs, à l'adolescence, les objectifs de santé, de condition physique et comportementaux deviennent prédominants E. Van Praagh, (2008).

2. Les déterminants de l'activité physique

2.1. Effet de l'âge

D'après E. Van Praagh, (2008), L'ensemble des études de la littérature note un effet de l'âge sur le niveau d'AP des enfants et des adolescents. Ainsi, Armstrong et al, (1998) ont montré que le pourcentage d'enfants ayant accumulé au moins 30 minutes d'activité par jour à une fréquence cardiaque supérieur à 140 bpm diminuait entre 06 et 15 ans, de 95% à 29% chez les garçons, et de 86% à 18% chez les filles (figure 17). C'est vers 10 ans que ces auteurs ont noté une forte diminution de l'AP pour les deux sexes. Trost et al, (2002) ont également montré que le temps passé dans une activité de modéré a intense diminuait entre 07 et 15 ans, de nouveau avec une inflexion a la puberté. Ce dernier était en moyenne de 200 minutes par jour chez les enfants âgés de 07 ans, de 78 minutes par jour à l'âge de 13 ans et de 52 minutes par jour à l'âge de 15 ans.

Riddoch et al, (2004) ont mesuré le temps passé dans une activité de modéré a intense chez des garçons et des filles âgés de 09 à 15 ans dans 04 pays (Danemark, Portugal, Estonie, Norvège). Ces auteurs ont montré qu'il y avait une baisse significative du niveau de l'AP avec l'âge. Ils ont relevé une moyenne de 177 minutes par jour passé a une activité de modérée a intense, pour l'ensemble des enfants âgés de 09 ans et de 86 minutes par jour pour les enfants âgés de 15 ans. Avec l'âge, le temps passé dans une activité physique intense diminue également Trost et al, (2002) ; Gavarry et al, (2003). Gavarry et al, (2003) ont mesuré le niveau d'AP habituelle chez 182 enfants et adolescents français (06-20 ans) de l'école primaire au lycée (jours scolaires et jours fériés). Le total d'activité physique (TPA), les temps passés dans une activité physique légère, modérée et intense ont été mesurés. Pendant les jours scolaires, TPA était inférieur de 69% chez les garçons ($p < 0.05$) et de 36% chez les filles entre l'école primaire et le lycée. A l'inverse, TPA ne variait pas significativement pendant les jours fériés.

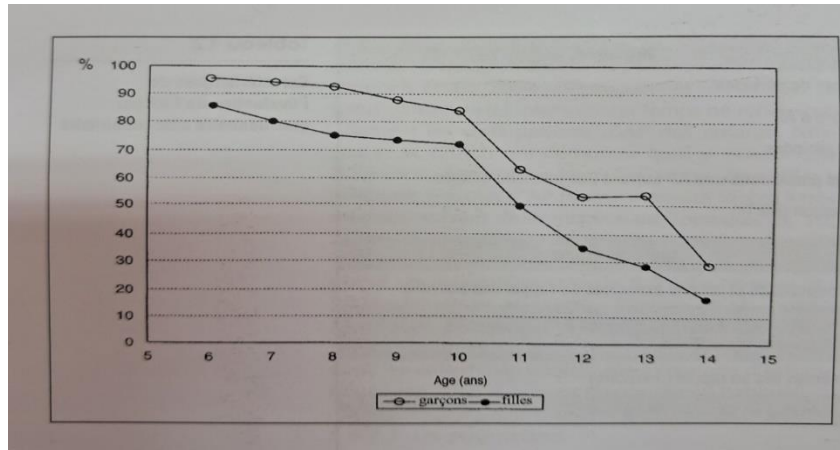


Figure 17 : Pourcentage d'enfants ayant accumulé un minimum de 30 minutes par jour dans une activité de modérée à intense Armstrong et al, (1998).

2.2. Effets du sexe

Aux états unis

D'après E. Van Praagh, (2008), Trost et Al, (2002) ont montré qu'il existait une différence significative entre les garçons et les filles à partir de 09 ans sur le temps passé dans une activité de modérée à intense. Ils ont rapporté que les garçons de 10 ans passaient environs 120 minutes par jour dans une AP modérée alors que les filles du même âge y consacraient 100 minutes par jour ($p < 0.05$). Cette différence entre les sexes se retrouvait à l'adolescence ; les auteurs observaient que les garçons âgés de 15 ans passaient environs 55 minutes par jour dans une AP modérée alors que les filles du même âge passaient environs 50 minutes par jour à cette intensité (figure 18).

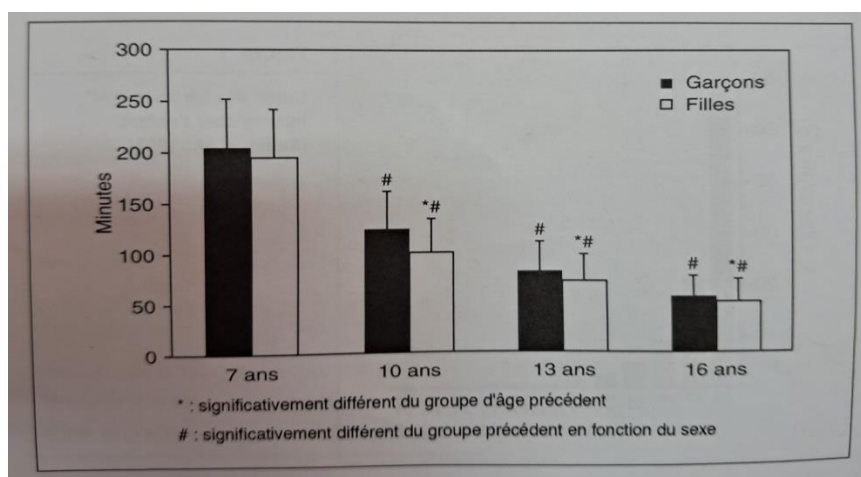


Figure 18 : Temps passé dans une AP modérée chez des garçons et des filles âgés de 07, 10, 13 et 16 ans, chaque jour Trost et Al, (2002).

L'étude américaine Youth Risk Behavior Survey (figure 19), Centers for Disease Control and Prevention, 1992), a montré que le déclin de l'AP était plus précoce chez les filles que chez les garçons. En effet, le pourcentage de filles qui participaient à une AP vigoureuse (>6 METs), 03 jours par semaine ou plus, était significativement inférieur à celui des garçons. Une revue de littérature, analysant les résultats de 09 études menées par questionnaires, dans différents états, chez des jeunes âgés de 06 à 18 ans, concluait que les garçons étaient 14% plus actifs que les filles Sallis et Al, (1993). Cette différence augmentait de 23% lorsque des mesures objectives à l'aide d'accéléromètres étaient réalisées. La diminution de l'AP était en moyenne de 2.6% à 7.4% par an chez les filles et de 1.8% à 2.7% chez les garçons. Les conclusions d'une autre étude Américaine (U.S. National Children and Youth Fitness Survey I) menée auprès de 8800 jeunes âgés de 07 à 15 ans, Pate et Al, (1994) ; Ross et Al, (1985) confirmaient une plus grande sédentarité chez les filles, de l'ordre de 05% à 15% suivant l'âge.

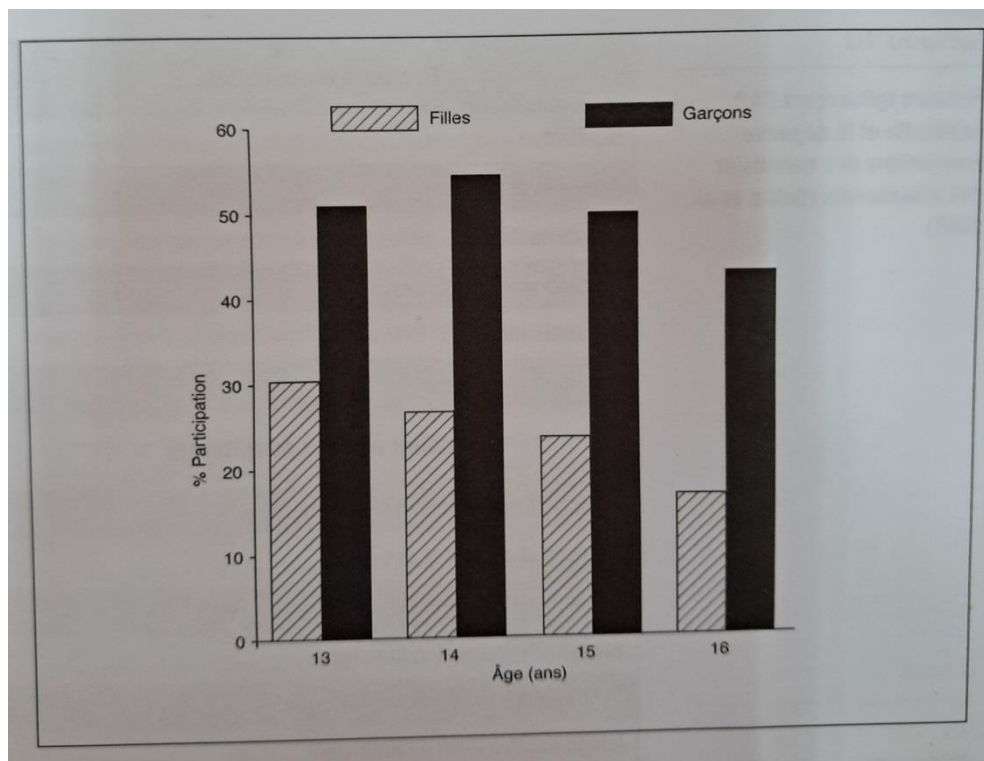


Figure 19 : Pourcentage d'enfants américains âgés de 13 à 16 ans qui participent à une AP vigoureuse 3 fois ou plus par semaines. Basé sur 11631 étudiants pour United States Youth Risk Behavior Suvey (Centers for Disease Control and prevention, 1992).

En Europe

Armstrong et Al, (1998) ont montré que le pourcentage d'enfants ayant accumulé au moins 30 minutes d'activités par jour à une fréquence cardiaque supérieure à 140 bpm (soit à une intensité modérée) est d'environ 10% supérieure chez les garçons et ce tout au long de la croissance (6 à 15 ans) (figure 02). Riddoch et Al, (2004) ont montré que le temps passé chaque jour dans une activité de modérée à intense était significativement supérieure ($p < 0.001$) chez les garçons, pour des enfants et adolescents âgés de 09 et 15 ans dans 04 pays européens. Les garçons de 09 ans passaient en moyenne 192 minutes par jour dans une activité de modérée à intense alors que les filles y passaient en moyenne 160 minutes par jour ; les garçons âgés de 15 ans passaient en moyenne 99 minutes par jour dans une activité modérée alors que les filles y consacraient en moyenne 73 minutes par jour.

Santos et Al, (2003) ont mesurés l'AP habituelle de 157 enfants âgés de 08 à 15 ans au Portugal afin de relever les différences selon l'âge et le sexe. Les garçons se sont révélés être plus actifs que les filles s'engageant surtout dans une activité modérée à intense. La différence s'avérait être significative surtout pour les jeunes entre 11 et 13 ans et entre 14 et 16 ans. De l'enfance à l'adolescence, le temps passé dans une activité modérée à intense diminuait. Les garçons tendaient à participer d'avantages à des périodes d'activités continues que les filles mais les différences n'étaient pas significatives.

Cependant, la différence entre les niveaux d'AP chez les garçons et les filles ne peut être totalement expliquée par le seul facteur temps. Des facteurs sociaux et biologiques pourraient être la cause de ce phénomène, particulièrement à partir de la puberté.

2.3. Les facteurs d'influence

Sallis et Al, (2002) ont réalisé une synthèse de l'ensemble des études menées chez les enfants entre 1970 et 1998. Ils ont analysé l'ensemble des déterminants biologiques, psychologiques, sociaux, culturels et environnementaux de l'AP et de la dépense énergétique (tableau 05). L'AP et la dépense énergétique peuvent être également influencées par des variables liées à l'environnement physique, telles que le climat, le temps ou les changements de saisons. Pour les enfants (04 à 12 ans), 54 études ont été supervisées, 76% étaient transversales et 80% provenaient des états unis. Pour les adolescents (13 à 18 ans), 54 études ont été répertoriées, 83% étaient transversales, 68% venaient des états unis.

Tableau 5: Facteurs influençant l'AP habituelle et la dépense énergétique des enfants et des adolescents Sallis et Al, (2000).

Facteurs biologiques		Facteurs psychologiques	
Hérédité		Efficacité personnelle	
Adiposité et nutrition		Schéma personnel pour l'activité	
État de santé		Perception et les barrières de l'activité	
Maturation sexuelle		Attitudes face à l'activité	
Capacités motrices		Croyances au sujet de l'activité	
Condition physique			
Facteurs sociaux et culturels		L'environnement physique	
Attitudes et conduites des parents		Facilités de l'activité	
Attitudes et conduites des pairs		Variations des saisons	
Statut socio-économique		Changements climatiques	
Valeurs ethniques et culturelles		Les jours de la semaine et les vacances	
Temps passé à regarder la télévision		Les considérations de sécurité	
Temps passé à jouer à l'ordinateur		Entrée dans la vie active versus l'école et les études	

2.3.1. Les facteurs biologiques

L'hérédité apparaît comme un facteur d'influence conséquent sur les patterns d'AP des enfants. Ces études ont montrés des liens entre hérédité et patterns d'AP. Perusse et Al, (1988) ont menés des observations au Canada et ont conclus que les variables biologiques pouvaient influencés le niveau d'AP comme les déterminants environnementaux. Ces auteurs se sont intéressés aux relations entre les liens biologiques (parents vs enfants biologiques), non biologiques (les époux, l'oncle vs la nièce ou le neveu, l'adoption) et le niveau d'AP ainsi que la participation à l'exercice auprès de 375 familles. Ils ont montrés que le niveau d'AP était significativement influencé par l'hérédité, au contraire de la participation par exercice. Joosen et Al, (2005) ont également montré que la variabilité de l'AP dépendait des facteurs génétiques. La sous-nutrition et l'obésité Toorun et Al, (1996) ainsi que l'état de santé (maladies physiques ou mentales) influencent également le niveau d'AP chez les jeunes. La puberté, plus particulièrement chez les filles, s'accompagne d'une réduction de l'AP. Les facteurs psychosociaux viennent en partie expliquer ce phénomène (le sport est associé à la masculinité, les filles se tournent vers d'autres activités de type culturel ou relationnel), mais peuvent être également liés à d'autres changements d'ordre biologiques (tableau 05). E. Van Praagh, (2008)

Les capacités motrices peuvent être déterminantes des patterns d'AP Malina, (1996). En effet, les enfants et les adolescents s'investissent dans une AP selon leurs capacités et leurs habilités motrices qui leurs permettent d'être plus ou moins performants dans leurs pratiques.

2.3.2. Le milieu scolaire

D'après E. Van Praagh, (2008), Falgairrette et Al, (1996) et Gavarry et Al, (1998) ont rapportés que les enfants et les adolescents étaient d'avantages actifs à l'école plutôt que les jours fériés, pendant lesquels les jeunes tendent à passer leurs temps libre à regarder la télévision, à jouer à l'ordinateur ou aux jeux vidéo Pate et Al, (1994). Par le biais des cours d'éducation physique Fairclough et Al, (2005) et des récréations Sarkin et Al, (1997), il est possible d'augmenter le niveau d'AP des enfants à l'école. Blatchford et Al, (1989 et 2003) ont montrés les temps de récréation sont les moments scolaires ou les enfants passent la majorité de leurs temps. Diverses interventions dans le milieu scolaire se sont avérées positives dans l'augmentation du niveau d'AP à court et à long termes des enfants au cours élémentaire McKenzie et Al, (1997) ; Stratton. (1999).

Sallis et Al, (2001) ont mené une étude afin de mesurer l'impact des caractéristiques de l'environnement scolaire sur l'AP des enfants. 137 zones dans 24 écoles publiques ont été mesurées selon leur taille, leur type et leurs équipements et ont été observées avant l'école, lors de déjeuner, et après l'école. Les caractéristiques environnementales expliquaient 42% des différences du niveau d'activités chez les filles et 59% chez les garçons. Une amélioration des espaces scolaires (aménagements, matériels) associés à une supervision inciteraient les filles et les garçons à être plus actifs. L'école apparait donc comme étant un milieu propice pour améliorer l'AP, d'autant plus qu'il s'adresse à tous les enfants.

3. La relation entre AP et santé

Il existe un lien évident entre l'AP et la santé chez l'adulte mais il est difficile actuellement de clarifier les relations entre ces deux facteurs chez les enfants et les adolescents (figure 20).

Deux questions se posent :

- L'AP pendant l'enfance et l'adolescence a-t-elle une influence sur la santé de l'enfant et l'adolescent ?

L'AP pendant l'enfance et l'adolescence a-t-elle une influence sur la santé à l'âge adulte ? Blair et al, (1989).

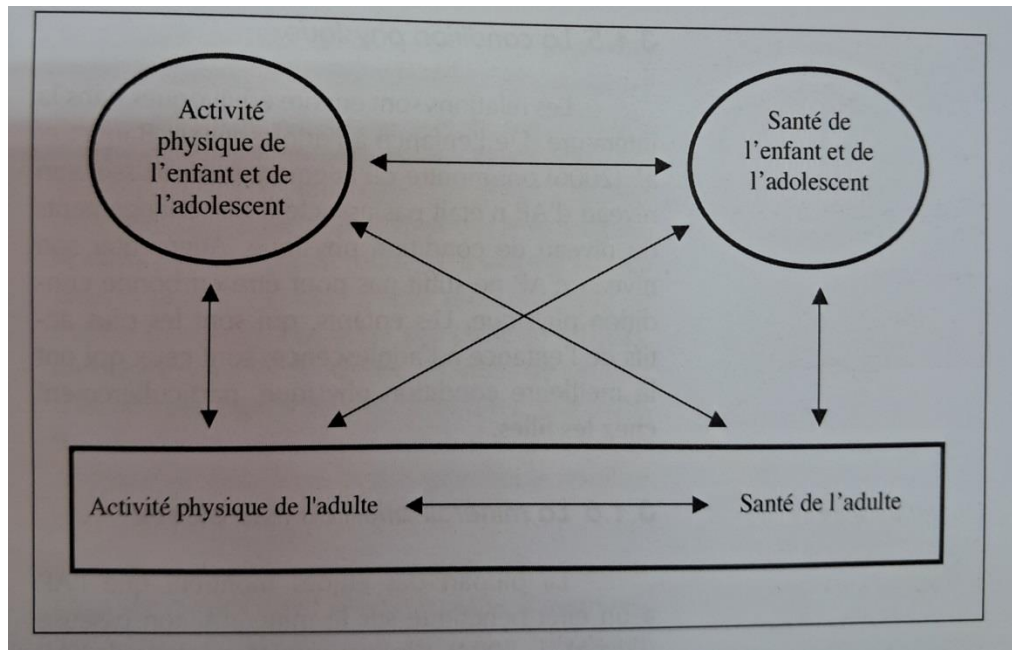


Figure 20 : Les relations entre l'AP et la santé Malina, (2001) d'après Blaire et al, (1989).

Les bénéfices d'un style de vie active ont été largement démontrés dans les différentes études chez une population adulte procurant clairement un bien-être psychologique chez les sujets actifs. Blaire et al, (1996) suggéraient d'ailleurs qu'une AP régulière à intensité modérée pendant l'enfance permettait de poursuivre des objectifs de gains en matière de santé à court et à long terme. Ainsi, bien que cette relation soit modérée, la littérature a montré qu'une vie active pendant l'enfance réduirait les risques et les problèmes en matière de santé à long terme et que le niveau d'AP durant l'enfance pourrait se maintenir à l'âge adulte. Des études longitudinales ont également montrés que les habitudes de sédentarité perduraient beaucoup plus facilement de l'enfance à l'adolescence. E. Van Praagh, (2008).

3.1. Influence de l'activité physique sur la santé

Dans une revue de littérature, Strong et al, (2005) ont répertorié les influences de la pratique d'une AP sur la santé et le comportement des enfants et des adolescents. En règle générale, les effets bénéfiques de l'AP sur les différents déterminants de la santé sont plus marqués chez les enfants obèses ou en surpoids.

3.1.1. La masse grasse et le surpoids

Les enfants qui sont les plus actifs ont un pourcentage de masse grasse moins important. Un programme composé d'AP modérée permet de réduire sensiblement la masse et la masse grasse d'adolescents et d'enfants en surpoids, mais est sans effet sur une population normale. Un programme composé d'AP intenses pourrait avoir un effet bénéfique sur cette dernière.

3.1.2. La santé cardiovasculaire

Le syndrome métabolique est un ensemble de facteurs de risque pouvant affecter la santé de l'individu. Il est défini chez les adolescents suivant plusieurs déterminants : tour de taille > 90^e percentile, triglycérides \geq 110 mg/dl, tension > 90^e percentile, niveau de cholestérol (HDL-C \leq 40 mg/dl et un taux de glucose \geq 110 mg/dl. Il existe peu d'études sur les effets de l'AP sur le syndrome métabolique et le niveau d'AP requis pour le prévenir ou le traiter n'est pas connu. Les relations entre niveau d'AP et les différents niveaux de cholestérol et de triglycérides sont généralement faibles. Par contre, chez des enfants hypertendus, l'AP permet une diminution significative de la pression artérielle. Néanmoins, il apparaît qu'une AP d'intensité modérée journalière augmente le taux de HDL-C et baisse de taux de triglycérides ainsi que la pression artérielle. Les relations entre AP et la capacité aérobie sont de faibles à modérées et il n'existe pas de relation inverse entre niveau d'AP et niveau de condition physique chez les jeunes asthmatiques.

3.1.3. La santé mentale

En termes d'effet de l'AP sur la santé mentale, seules les relations entre AP, anxiété, dépression et la perception de soi ont été étudiées. Ces relations sont de faibles à modérées et varient suivant l'AP.

3.1.4. Les performances intellectuelles

Un niveau d'AP élevé semble corrélé positivement aux performances intellectuelles des enfants, en termes de concentration, mémoire et comportement en classe. Cependant, une augmentation du niveau d'AP ne semble pas influencer ces performances.

3.1.5. La condition physique

Les relations sont encore équivoques dans la littérature. De l'enfance à l'adolescence Baquet et al, (2006) ont montré qu'augmenter ou baisser son niveau d'AP n'était pas associé à des changements du niveau de condition physique. Augmenter son niveau d'AP ne suffit

pour être en bonne condition physique. Les enfants, qui sont les plus actifs de l'enfance à l'adolescence, sont ceux qui ont la meilleure condition physique, particulièrement chez les filles E. Van Praagh, (2008).

3.1.6. La minéralisation du tissu osseux

La plupart des études montrent que l'AP a un effet bénéfique sur la minéralisation osseuse. L'influence ostéogénique de l'AP est généralement spécifique aux masses musculaires mises en jeu, notamment lors d'exercices de musculation E. Van Praagh, (2008).

3.2. Activité physique, développement et maturation sexuelle

En présence d'une alimentation équilibrée et suffisante, l'activité physique ou le sport ne semblent pas avoir d'effets sur la taille définitive de l'enfant Malina, (1994). A contrario, des dépenses énergétiques importantes modifient la masse corporelle et la répartition masse grasse/ masse maigre des enfants et des adolescents. Si l'entraînement se poursuit, la morphologie peut ainsi être modifiée à l'âge adulte Malina, (1994). Pour preuve, deux homozygotes n'aillant pas la même pratique physique peuvent avoir, à l'âge adulte, des gabarits différents. De la même façon, l'inactivité excessive conduit aux problèmes de surpoids, d'obésité et favorise l'apparition du « syndrome métabolique ».

La maturation sexuelle peut être perturbée par une pratique sportive importante. Ainsi, un entraînement excessif dans des activités nécessitant des morphotypes très légers comme la gymnastique, la danse, la GRS... peut retarder l'apparition des premières règles. Deux théories s'affrontent dans l'étiologie de ce mécanisme. Le premier modèle correspond à la théorie de Frish et collaborateurs qui cherche à établir une corrélation entre le pourcentage minimum de masse grasse et l'apparition des premières règles Frich et McArthur, (1974). La deuxième théorie est défendue par Malina qui estime que le retard de ménarche n'est pas lié au volume et/ou à l'intensité de la pratique physique mais qu'il est préprogrammé génétiquement. De ce fait, « un processus de socialisation » pousserait irrémédiablement les petits gabarits vers des activités favorisant ces pratiques Malina, (1983). A l'opposé, chez le garçon, il semblerait que la maturation sexuelle soit plus précoce avec l'entraînement Baxter-Jones et al, (1993).

3.3. Effet de l'exercice pendant la croissance

La sensibilité du tissu osseux aux contraintes mécaniques appliquées lors de l'exercice physique serait plus élevée pendant la croissance, période pendant laquelle le turnover

osseux est particulièrement rapide. Ces contraintes modifient l'environnement mécanique de l'os et donc influencent les processus de croissance longitudinale et de minéralisation osseuse E. Van Praagh, (2008).

3.3.1. Exercice physique et croissance osseuse longitudinale

De E. Van Praagh, (2008), Dès les années 1650, Buskirk et al ont noté que l'ulna et le radius étaient plus longs du côté dominant que du côté non dominant chez des joueurs de tennis aillant débuté leur pratique dès l'enfance ou l'adolescence Buskirk et al, (1956). Ce résultat a été confirmé par d'autres études radiographiques, sur le radius et l'ulna Todorov, (1975) ; Krahl et al, (1994) mais aussi sur les métacarpes Montoye, (1980), avec des différences de longueur entre les deux bras allant de 1 à 3%. Les stimuli mécaniques influencent donc la croissance longitudinale des os longs. De plus, les travées osseuses nouvellement formées s'orientent selon la direction des forces mécaniques prédominantes Carter et al, (1996) ; Rauch, (2005) de manière à optimiser la résistance du tissu osseux aux contraintes.

La stimulation de la croissance osseuse longitudinale par l'exercice pourrait en partie s'expliquer par une augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins irriguant les parties du corps sollicitées lors de l'effort. Chez des joueurs de tennis, Huonker et al ont en effet noté que le diamètre de l'artère subclavière (la principale artère irriguant le membre supérieur) était supérieur de 19% du coté dominant par rapport au côté non dominant Huonker et al, (2003). En augmentant le débit sanguin, cette adaptation faciliterait l'arrivée des nutriments et des facteurs de croissance locaux essentiels à la croissance osseuse. D'autre part, il est possible que la stimulation de la croissance longitudinale dépende du type de contraintes mécaniques appliquées sur les structures osseuses (compression, torsion, flexion).

3.3.2. Exercice physique et minéralisation osseuse

D'après E. Van Praagh, (2008), La pratique régulière d'une activité physique est associée à une augmentation de la DMO surfacique chez l'enfant, à condition que l'activité pratiquée induise des contraintes mécaniques sur le tissu osseux. L'effet ostéogénique du sport s'exerce grâce à l'action des muscles et à celle de la gravité, par l'intermédiaire de la force de réaction du sol (lors des activités où le poids du corps est mis en jeu) et des forces appliquées au niveau des articulations Turner, (2000) ; Blimkie et Hogler, (2003). D'après de nombreux auteurs, ce sont les contractions musculaires, et non le poids du corps, qui

exerceraient les plus larges contraintes sur le squelette lors de la vie courante Burr, (1997) ; Schoenau et al, (2001). Elles expliqueraient 50% de la variabilité du développement de la masse et de la résistance osseuse Schoenau et al, (2002). Les attaches musculaires sont généralement situées près des articulations et les muscles doivent générer des forces importantes pour faire bouger le bras levier, c'est-à-dire l'os Macdonald et al, (2005). Cet effet est d'autant plus important chez les jeunes sportifs du fait de la répétition des contractions musculaires et de l'augmentation de la masse musculaire au cours de la puberté.

4. Caractéristiques morpho-métriques générales

La période comprise entre la naissance et les 10-12e années coïncide, comme on le sait, avec une intense phase de croissance (figure 21 et figure 22). Entre 5 et 12 ans, l'augmentation du poids corporel est d'environ 10% par année, comme on peut le constater sur la figure 20. Même la fraction de poids maigre du corps varie en fonction de la croissance relative de la masse musculaire qui, chez l'homme, apparait à la puberté. La fraction des graisses chez le sujet sédentaire italien se réduit entre 10 et 20 ans de 24 à 19% environ du poids du corps. Chez la femme sédentaire, la graisse représente environ 25% du poids du corps. Chez les enfants appartenant à des groupes ethniques africains et asiatiques et chez les caucasiens entraînés, la fraction des graisses corporelles est très inférieure (à 10 ans, environ 08% du poids du corps pour les deux sexes).

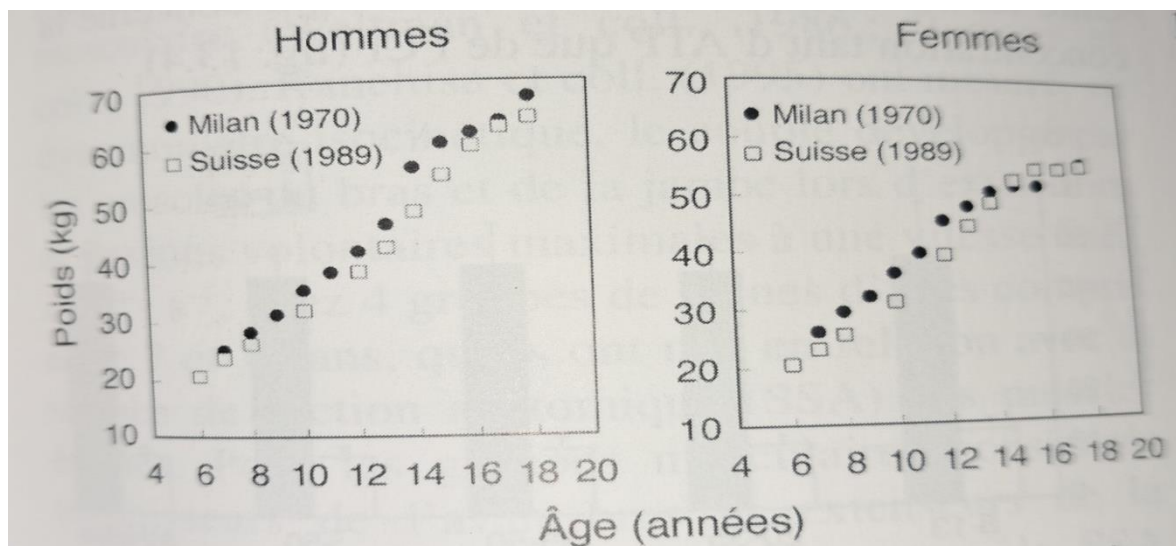


Figure 21 : Poids du corps en fonction de l'âge chez des jeunes des deux sexes vivant en Lombardie (1970) et en Suisse (1989).

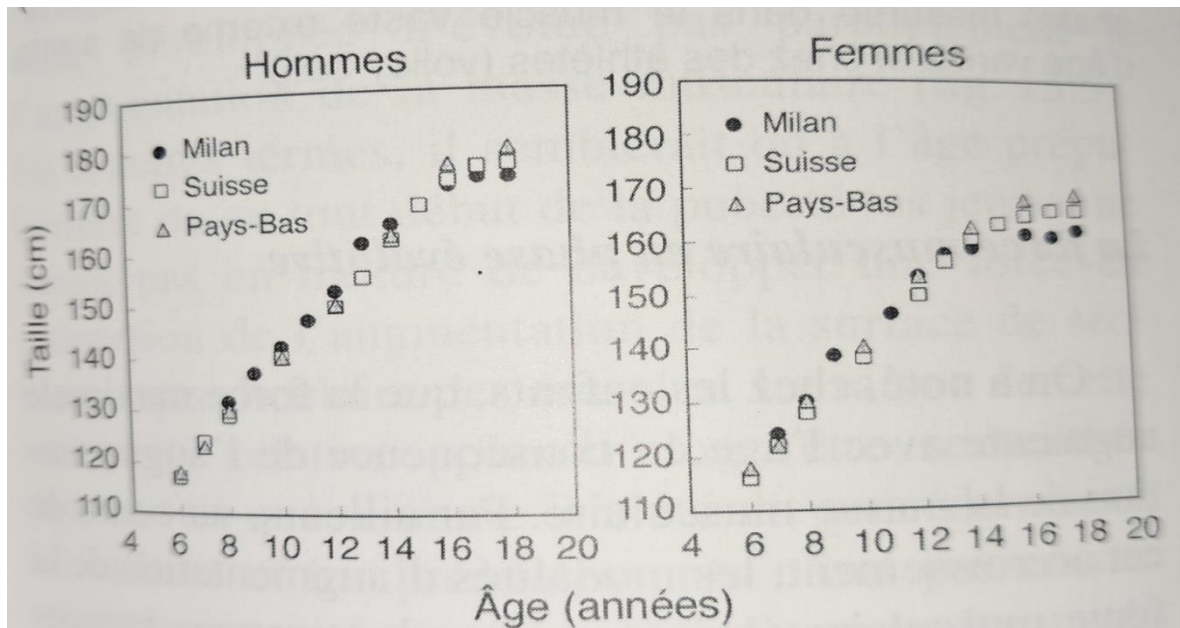


Figure 22 : Taille en fonction de l'âge chez des jeunes des deux sexes vivant en Lombardie (1970), aux Pays-Bas (1985) et en Suisse (1989).

Partie Méthodologique

1. Taches à réaliser

- Réalisation des radiographies de la main gauche chez les enfants de 12 à 16ans ;
- Réalisation des mesures anthropométriques chez ces enfants (taille debout, taille assise, longueur des membres inférieurs et masse corporelle)
- Recueil des résultats obtenus ;
- Traitement de ces résultats (le traitement des radiographies et calcul des mesures anthropométriques) ;
- Calcul du PVC
- Conclusions tirées à partir des résultats obtenus.

L'objectif de notre recherche est :

- L'estimation de la maturation biologique chez des enfants et des adolescents (garçons et filles)
- Comparaison de la différence entre l'âge osseux et l'âge chronologique
- Estimation de la précocité de maturation chez les athlètes
- Estimation de l'influence de l'APS compétitive sur la maturation biologique des athlètes.

L'intérêt de notre étude est d'optimiser les programmes d'entraînement selon des catégories d'âge établies sur la base de la maturation biologique (l'âge osseux), chez les enfants nageurs (9 – 12 ans) et les adolescents (13 – 16 ans).

Notre travail consiste à estimer le degré de maturité biologique chez les enfants âgés de 9 à 16ans pratiquant une activité physique et sportive compétitive (natation).

Notre étude est descriptive, elle a été faite à Bejaïa, dans la piscine du stade de l'unité maghrébine de Bejaïa. La durée de notre étude est de 03 mois.

2. Echantillon

Notre échantillon est 57 enfants et adolescents (filles et garçons) scolarisés à la wilaya de Bejaia et pratiquant une activité physique compétitive qui est la natation dans le club OCB de Bejaïa ayant un niveau international pour la plupart.

Caractéristiques :

- 23 enfants (filles - garçons) âgés entre 09 et 12 ans
- 34 adolescents (filles – garçons) âgés entre 13 et 16 ans

3. Moyens et méthode de la recherche

3.1. Moyens de la recherche

Matériel utilisé :

- Une balance pour la pesée du poids.
- Une toise pour la mesure de la stature
- Un laboratoire de radiographie pour la prise des clichés radiographiques de la main et du poignet gauche des nageurs.

3.2. Méthodes de la recherche

- **Méthode de l'analyse bibliographique**

Méthode permanente qui intéresse toutes les étapes de la recherche, elle consiste en l'analyse d'un ensemble de sources bibliographiques utilisées pour nous permettre d'apporter un riche complément d'informations théoriques et pratiques, sur la base de diverses données bibliographiques, (livres, revues scientifiques publiées et reconnues...)

- **Mesures anthropométriques**

Au début des années 2000, des chercheurs canadiens et belges ont développé des équations qui permettent de prédire l'âge d'apparition du PVC en fonction des mesures anthropométriques les plus classiques (taille debout, taille assise, masse corporelle, longueur des membres inférieurs) et l'âge chronologique. Cette méthode repose notamment sur l'évolution du tronc par rapport à celle des membres inférieurs (différence entre la taille debout et la taille assise) qui est une caractéristique connue du processus de maturation. En effet, les membres inférieurs grandissent plutôt que le tronc.

- **Méthode de traitement statistique**

- Les mesures anthropométriques rapportées sont calculées à l'aide de Microsoft Excel en utilisant les formules de régression de Mirwald et al.
- Les données sont traitées à l'aide du logiciel Sigma plot est le $P < 0,05$

- Pour les comparaisons nous avons utilisé le test non paramétrique d'U - Man Whitney quand les données ne suivaient pas une distribution normale, et le test de T-Student's quand les données suivaient une distribution normale.

4. Description des évaluations

4.1. La méthode utilisée pour déterminer l'âge osseux (atlas de Sempé)

Il s'agit d'une méthode de cotation des points d'ossification à partir de l'analyse de 22 indicateurs osseux de la radiographie du poignet et de la main gauche. Elle est basée sur une analyse longitudinale de radiographies d'enfants français et a donné lieu à un atlas appelé atlas de maturation squelettique de Sempé 1979. Cet atlas a été réalisé sur la base des radiographies de quatre filles et trois garçons de la naissance à la fin de la croissance.

Le laboratoire utilisé pour la prise des radiographies se situe à Bejaïa Tor Nabila Djahnine Rue de la liberté et les radiographies sont prises par le Dr Sakoura AIT HAMOUDA spécialiste en Imagerie Médicale.

Partie pratique

*Présentation et interprétation
des résultats*

Présentation et interprétation des résultats

Pour les 9-12ans

Garçons

01) Benosmane Nazim

Tableau 6: Etat de PVC de l'athlète Benosmane Nazim

Athlète	Age chronologique	PVC
B.N	11,657	-2,64

L'athlète Benosmane Nazim est à -2,64 de son pic de vélocité de croissance.

02) Belhocine Amine

Tableau 7: Etat de PVC de l'athlète Belhocine Amine

Athlète	Age chronologique	PVC
B.A	11,608	-2,18

L'athlète Belhocine Amine est à -2,18 de son PVC.

03) Salmi Fayz

Tableau 8: Etat de PVC de l'athlète Salmi Fayz

Athlète	Age chronologique	PVC
S.F	11,589	-2,76

L'athlète Salmi Fayz est à -2,76 de son PVC.

04) Salmi Ramzi

Tableau 9: Etat de PVC de l'athlète Salmi Ramzi

Athlète	Age chronologique	PVC
S.R	11,589	-2,91

L'athlète Salmi Ramzi est à -2,91 de son PVC.

Présentation et interprétation des résultats

05) Aissou Abdelghani

Tableau 10: Etat de PVC de l'athlète Aissou Abdelghani

Athlète	Age chronologique	PVC
A.A	11,526	-3,19

L'athlète Aissou Abdelghani est à -3,19 de son pic de vélocité de croissance.

06) Zaidi Tarik

Tableau 11: Etat de PVC de l'athlète Zaidi Tarik

Athlète	Age chronologique	PVC
Z.T	11,271	-2,83

L'athlète Zaidi Tarik est à -2,83 de son PVC.

07) Chaboune Ayoub

Tableau 12: Etat de PVC de l'athlète Chaboune Ayoub

Athlète	Age chronologique	PVC
C.A	10,956	-3,40

L'athlète Chaboune Ayoub est à -3,40 de son PVC.

08) Achour Yacine

Tableau 13: Etat de PVC de l'athlète Achour Yacine

Athlète	Age chronologique	PVC
A.Y	10,898	-3,34

L'athlète Achour Yacine est à -3,34 de son PVC.

09) Boutnaret Aimad

Tableau 14: Etat de PVC de l'athlète Boutnaret Aimad

Athlète	Age chronologique	PVC
B.A	10,822	-1,97

L'athlète Boutnaret Aimad est à -1,97 de son PVC.

Présentation et interprétation des résultats

10) Aziri Elyas

Tableau 15: Etat de PVC de l'athlète Aziri Elyas

Athlète	Age chronologique	PVC
A.E	10,652	-2,01

L'athlète Aziri Elyas est à -2,01 de son pic de vélocité de croissance.

11) Dahmani Aissam

Tableau 16: Etat de PVC de l'athlète Dahmani Aissam

Athlète	Age chronologique	PVC
D.A	10,222	-2,90

L'athlète Dahmani Aissam est à -2,90 de son PVC.

12) Bouguettaya Zineddine

Tableau 17: Etat de PVC de l'athlète Bouguettaya Zineddine

Athlète	Age chronologique	PVC
B.Z	9,986	-2,94

L'athlète Bouguettaya Zineddine est à -2,94 de son PVC.

13) Challale Samy

Tableau 18: Etat de PVC de l'athlète Challale Samy

Athlète	Age chronologique	PVC
C.S	10	-3,62

L'athlète Challale Samy est à -3,62 de son PVC.

Filles

01) Mili Lina

Tableau 19: Etat de PVC de l'athlète Mili Lina

Athlète	Age chronologique	PVC
M.L	11,715	2,35

L'athlète Mili Lina est à 2,35 de son pic de vélocité de croissance.

02) Mouzaoui Asma

Tableau 20: Etat de PVC de l'athlète Mouzaoui Asma

Athlète	Age chronologique	PVC
M.A	11,627	2,30

L'athlète Mouzaoui Lina est à 2,30 de son PVC.

03) Azzoug Lina

Tableau 21: Etat de PVC de l'athlète Azzoug Lina

Athlète	Age chronologique	PVC
A.L	11,534	1,82

L'athlète Azzoug Lina est a 1,82 de son PVC.

04) Ikhroufi Dalya

Tableau 22: Etat de PVC de l'athlète Ikhroufi Dalya

Athlète	Age chronologique	PVC
I.D	10,057	0,56

L'athlète Ikhroufi Dalya est à 0,56 de son PVC.

05) Bachi Maroua

Tableau 23: Etat de PVC de l'athlète Bachi Maroua

Athlète	Age chronologique	PVC
B.M	10,764	1,33

L'athlète Bachi Maroua est à 1,33 de son PVC.

Présentation et interprétation des résultats

06) Louasli Lina Malak

Tableau 24: Etat de PVC de l'athlète Louasli Lina Malak

Athlète	Age chronologique	PVC
L.LM	10,509	2,32

L'athlète Louasli Lina Malak est à 2,32 de son pic de vélocité de croissance.

07) Aberkane Marwah

Tableau 25: Etat de PVC de l'athlète Aberkane Marwah

Athlète	Age chronologique	PVC
A.M	10,312	0,12

L'athlète Aberkane Marwah est à 0,12 de son PVC.

08) Sabi Alise

Tableau 26: Etat de PVC de l'athlète Sabi Alise

Athlète	Age chronologique	PVC
S.A	10,301	0,17

L'athlète Sabi Alise est à 0,17 de son PVC.

09) Mokrani Sophia

Tableau 27: Etat de PVC de l'athlète Mokrani Sophia

Athlète	Age chronologique	PVC
M.S	10,085	-0,06

L'athlète Mokrani Sophia est à -0,06 de son PVC.

10) Berraki Lilia

Tableau 28: Etat de PVC de l'athlète Berraki Lilia

Athlète	Age chronologique	PVC
B.L	9,728	-0,26

L'athlète Berraki Lilia est à -0,26 de son PVC.

Pour les 12-16ans

Garçons

01) Aissou Abderahmane



Figure 23 : Radiographie de la main de l'athlète Aissou Abderahmane

Tableau 29: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Aissou Abderahmane

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
A.A	16,515 ans	16ans	1,19	Normale

Les résultats du tableau N°06 montrent que l'athlète présente une maturation biologique normale

02) Adour Anis



Figure 24 : Radiographie de la main de l'athlète Adour Anis

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 30: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Adour Anis

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
A.A	15,923 ans	13-13ans 1/2	1,13	Retardée

Les résultats du tableau N°07 montrent que la maturation biologique de l'athlète est retardée

03) Bouchebbah Walid



Figure 25 : Radiographie de la main de l'athlète Bouchebbah Walid

Tableau 31: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouchebbah Walid

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.W	15,515 ans	13 ans 1/2	1,12	Retardée

Dans les résultats de ce tableau N°08 on voit que la maturation biologique de l'athlète est retardée

04) Belaidene Islam



Figure 26 : Radiographie de la main de l'athlète Belaidene Islam

Tableau 32: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Belaidene Islam

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.I	15,351	13-13 ans 1/2	0,45	Retardée

Dans les résultats de ce tableau N°09 on constate que l'athlète présente une maturation biologique retardée

05) Yakoubi Aymen



Figure 27 : Radiographie de la main de l'athlète Yakoubi Aymen

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 33: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Yakoubi Aymen

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
Y.A	14,863 ans	14 ans	1,10	Normale

D'après les résultats de ce tableau N°10 la maturation biologique de l'athlète est normale

06) Deguiz Abderahmane



Figure 28 : Radiographie de la main de l'athlète Deguiz Abderahmane

Tableau 34: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Deguiz Abderahmane

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
D.A	14,786 ans	14 ans	0,11	Normale

Les résultats du tableau N°11 montrent que l'athlète présente une maturation biologique normale

07) Salmi Abderrahmane



Figure 29 : Radiographie de la main de l'athlète Salmi Abderrahmane

Tableau 35: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Salmi Abderrahmane

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
S.A	14,781	13 ans	-0,70	Retardée

D'après les résultats de ce tableau N°12 on constate que la maturation biologique de l'athlète est retardée

08) Charifi Med Chafik



Figure 30 : Radiographie de la main de l'athlète Charifi Med Chafik

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 36: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Charifi Med Chafik

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
CH.Mch	14,74 ans	14 ans	0,85	Normale

Dans les résultats de ce tableau N°13 on voit que l'athlète présente une maturation biologique normale

09) Dahmana Ala Eddine



Figure 31 : Radiographie de la main de l'athlète Dahmana Ala Eddine

Tableau 37: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Dahmana Ala Eddine

Athlète	Age Chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
D.A	14,616 ans	13 ans	0,52	Retardée

Les résultats du tableau N°14 montrent que l'athlète présente une maturation biologique retardée

10) Bouchebbah Daris



Figure 32 : Radiographie de la main de l'athlète Bouchebbah Daris

Tableau 38: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouchebbah Daris

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.D	14,545 ans	13-13 ans 1/2	0,29	Retardée

Dans ce tableau N°15 on constate que la maturation biologique de l'athlète est retardée.

11) Branci Amine



Figure 33 : Radiographie de la main de l'athlète Branci Amine

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 39: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Branci Amine

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.A	14,441 ans	16 ans	0,54	Avancée

D'après les résultats de ce tableau N°16 on voit que l'athlète présente une maturation biologique avancée

12) Bouda Omar



Figure 34 : Radiographie de la main de l'athlète Bouda Omar

Tableau 40: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouda Omar

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.O	14,389 ans	13 ans	0,40	Retardée

Les résultats de ce tableau N°17 montrent que la maturation biologique de l'athlète est retardée

13) Bessam Ilyes



Figure 35 : Radiographie de la main de l'athlète Bessam Ilyes

Tableau 41: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bessam Ilyes

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.I	14,364 ans	13 ans	-0,17	Retardée

D'après les résultats de ce tableau N°18 on voit que l'athlète présente une maturation biologique retardée

14) Boutnarte Med Islam



Figure 36 : Radiographie de la main de l'athlète Boutnarte Med Islam

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 42: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Boutnarte Med Islam

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.I	13,773 ans	13 ans	-0,17	Normale

Les résultats de ce tableau N°19 montrent que la maturation biologique de l'athlète est normale

15) Ikhlooufi Yanne



Figure 37 : Radiographie de la main de l'athlète Ikhlooufi Yanne

Tableau 43: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ikhlooufi Yanne

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
I.Y	13,669 ans	13 ans	-0,67	Normale

Dans ce tableau N°20 on constate que la maturation biologique de l'athlète est normale.

16) Bouguetaya Ali



Figure 38 : Radiographie de la main de l'athlète Bouguetaya Ali

Tableau 44: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouguetaya Ali

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.A	13,428 ans	13 ans	-0,16	Normale

Les résultats du tableau N°21 montrent que l'athlète présente une maturation biologique normale

17) Bouchachi Amine



Figure 39 : Radiographie de la main de l'athlète Bouchachi Amine

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 45: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux de l'athlète Bouchachi Amine

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
B.A	13,422 ans	13 ans	-0,93	Normale

Les résultats de ce tableau N°22 montrent que la maturation biologique de l'athlète est normale

18) Louasli Dia Eddine



Figure 40 : Radiographie de la main de l'athlète Louasli Dia Eddine

Tableau 46: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Louasli Dia Eddine

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
L.DE	13,12 ans	12 ans	-2,05	Retardée

D'après les résultats de ce tableau N°23 on voit que l'athlète présente une maturation biologique retardée

19) Ouzbidour Aymen



Figure 41 : Radiographie de la main de l'athlète Ouzbidour Aymen

Tableau 47: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé é de l'athlète Ouzbidour Aymen

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
O.A	13,595 ans	13 ans	-1,18	Normale

Les résultats du tableau N°24 montrent que l'athlète présente une maturation biologique normale

20) Zidane Dylan



Figure 42 : Radiographie de la main de l'athlète Zidane Dylan

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 48: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Zidane Dylan

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
Z.D	12,915 ans	13 ans	-1,13	Normale

Dans ce tableau N°25 on constate que la maturation biologique de l'athlète est normale

21) Sabi Amayas



Figure 43 : Radiographie de la main de l'athlète Sabi Amayas

Tableau 49: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Sabi Amayas

Athlète	Age chronologique	Age osseux Estimé	PVC	Statut
S.A	12,011 ans	12 ans	-2,34	Normale

D'après les résultats de ce tableau N°26 on voit que l'athlète présente une maturation biologique normale

Filles

01) Boudergui Ikram



Figure 44 : Radiographie de la main de l'athlète Boudergui Ikram

Tableau 50: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Boudergui Ikram

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
B.I	16,471 ans	Sup a 15 ans	0,44	Normale

Les résultats du tableau N°27 montrent que l'athlète présente une maturation biologique normale

02) Dahmani Aya



Figure 45 : Radiographie de la main de l'athlète Dahmani Aya

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 51: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Dahmani Aya

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
D.A	16,332 ans	Sup a 15 ans	0,82	Normale

Les résultats du tableau N°28 montrent que la maturation biologique de l'athlète est normale

03) Yahiaoui Hiba



Figure 46 : Radiographie de la main de l'athlète Yahiaoui Hiba

Tableau 52: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Yahiaoui Hiba

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
Y.H	15,227 ans	14 ans	0,58	Retardée

Dans les résultats de ce tableau N°29 on voit que la maturation biologique de l'athlète est retardée

04) Ziane Lamis



Figure 47 : Radiographie de la main de l'athlète Ziane Lamis

Tableau 53: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ziane Lamis

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
Z.L	14,89 ans	14 ans	0,23	Normale

Dans les résultats de ce tableau N°30 on constate que l'athlète présente une maturation biologique normale

05) Younsi Nihad



Figure 48 : Radiographie de la main de l'athlète Younsi Nihad

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 54: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète
Younsi Nihad

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
Y.N	14,551 ans	15 ans	0,76	Normale

D'après les résultats de ce tableau N°31 la maturation biologique de l'athlète est normale.

06) Ouchene Maylis



Figure 49 : Radiographie de la main de l'athlète Ouchene Maylis

Tableau 55: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète
Ouchene Maylis

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
O.M	14,313 ans	14 et 15 ans	-0,34	Normale

Les résultats du tableau N°32 montrent que l'athlète présente une maturation biologique normale

07) Zaidi Ines



Figure 50 : Radiographie de la main de l'athlète Zaidi Ines

Tableau 56: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Zaidi Ines

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
Z.I	13,855 ans	14 ans	-0,14	Normale

Dans les résultats de ce tableau N°33 on constate que l'athlète présente une maturation biologique normale

08) Hamani Lyna



Figure 51 : Radiographie de la main de l'athlète Hamani Lyna

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 57: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Hamani Lyna

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
H.L	13,68 ans	Entre 14/15 ans	-0,14	Normale

Dans les résultats de ce tableau N°34 on constate que l'athlète présente une maturation biologique normale

09) Ziane Hanane



Figure 52 : Radiographie de la main de l'athlète Ziane Hanane

Tableau 58: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Ziane Hanane

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
Z.H	13,611 ans	Entre 14/15 ans	-0,12	Normale

D'après les résultats de ce tableau N°35 la maturation biologique de l'athlète est normale.

10) Azzoug Massilva



Figure 53 : Radiographie de la main de l'athlète Azzoug Massilva

Tableau 59: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Azzoug Massilva

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
A.M	13,584 ans	15 ans	0,05	Avancée

Dans les résultats de ce tableau N°36 on constate que l'athlète présente une maturation biologique avancée

11) Ouyahia Louiza



Figure 54 : Radiographie de la main de l'athlète Ouyahia Louiza

Présentation et interprétation des résultats

Tableau 60: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète
Ouyahia Louiza

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
O.L	13,326 ans	11 ans	-0,90	Retardée

Les résultats du tableau N°37 montrent que l'athlète présente une maturation biologique retardée

12) Hamadi Imene



Figure 55 : Radiographie de la main de l'athlète Hamadi Imene

Tableau 61: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète
Hamadi Imene

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
H.I	13,263 ans	14 ans	-0,77	Normale

Les résultats du tableau N°38 montrent que la maturation biologique de l'athlète est normale

13) Bouaiche Linda



Figure 56 : Radiographie de la main de l'athlète Bouaiche Linda

Tableau 62: Comparaison de l'âge chronologique et l'âge osseux estimé de l'athlète Bouaiche Linda

Athlète	Age chronologique	Age osseux estimé	PVC	Statut
B.L	13,041 ans	11 ans	-1,76	Retardée

D'après les résultats de ce tableau N°39 la maturation biologique de l'athlète est retardée

Présentation et interprétation des résultats

Comparaison de l'âge chronologique entre garçons et filles

Tableau 63: Tableau de comparaison de l'âge chronologique entre garçons et filles

	M.E.T	T	P	signification
Garçons	14,25± 1,07	-0,160	0,87	NS
Filles	14,31 1,12			

Il n'y a pas de différence significative pour l'âge chronologique entre les garçons et les filles.

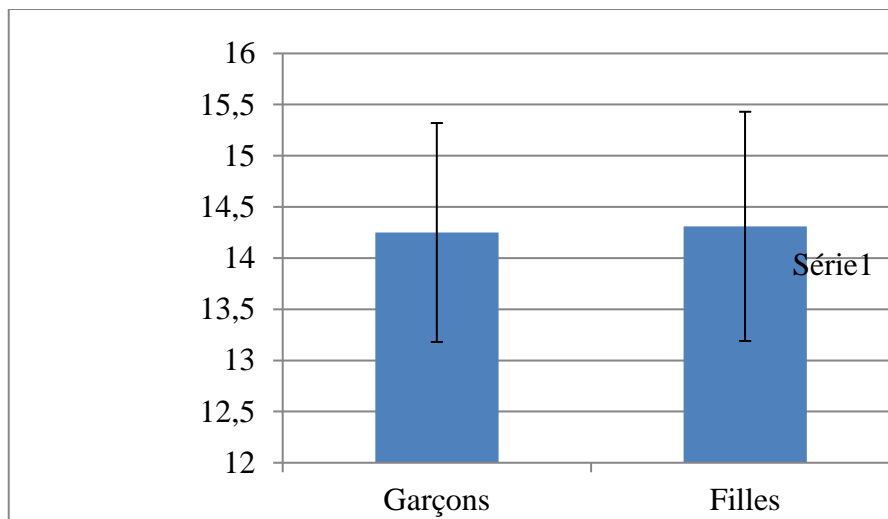


Figure 57 : Comparaison de l'âge chronologique entre garçons et filles.

Comparaison de l'âge osseux entre les garçons et les filles

Tableau 64: Comparaison de l'âge osseux entre les garçons et les filles

	M ± ET	U de mann-whitney	P	Signification
Garçons	13.5± 1.035	83,000	0,03	S
Filles	13.885±1.341			

Il existe une différence significative entre l'âge osseux des garçons et celui des filles.

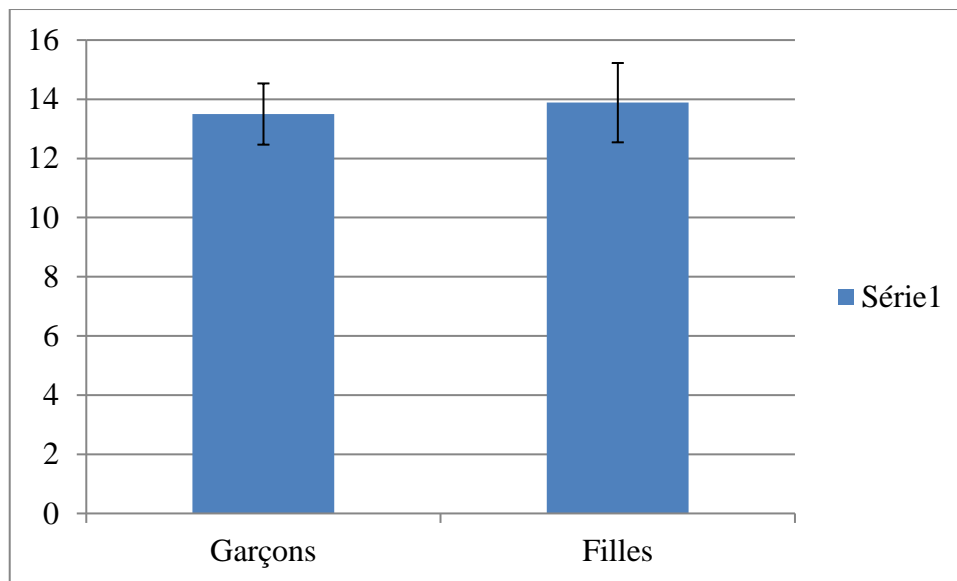


Figure 58 : Comparaison de l'âge osseux entre les garçons et les filles

Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des garçons

Tableau 65: Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des garçons

	M.E.T	T	P	Signification
Age chronologique	14,257 ± 1,079	2,375	0,222	S
Age osseux	13,500 ± 1,035			

Il existe une différence significative entre l'âge chronologique et l'âge osseux des garçons.

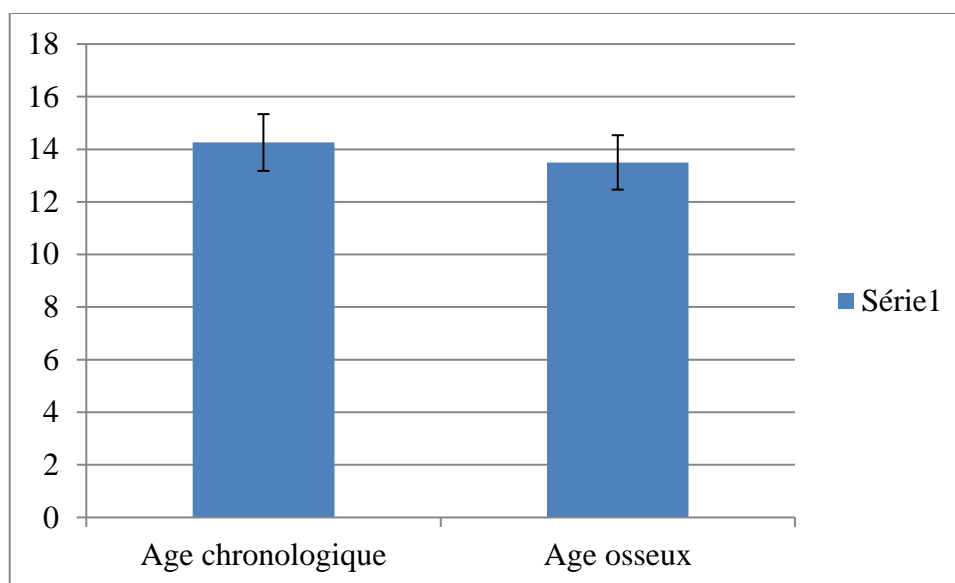


Figure 59 : Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des garçons

Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des filles

Tableau 66: Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des filles

	M.E.T	T	P	Signification
Age chronologique	14,319 ± 1,129	0,893	0,381	NS
Age osseux	13,885 ± 1,341			

Il n'y a pas de différence significative entre l'âge chronologique et l'âge osseux des filles.

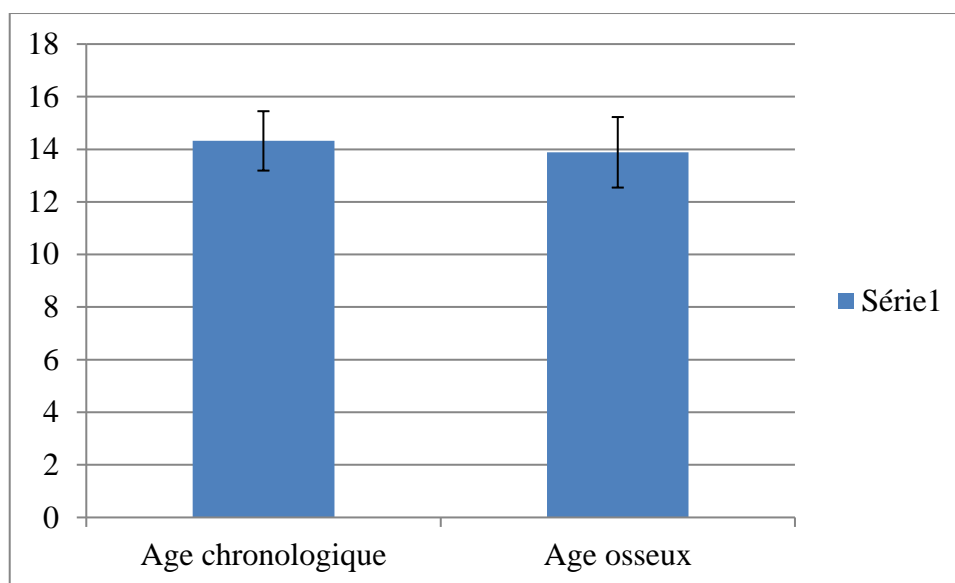


Figure 60 : Comparaison entre l'âge chronologique et l'âge osseux des filles

Discussion des résultats

Discussion des résultats

- *Différence âge osseux entre garçons et filles*

Pour l'âge osseux, la différence entre les garçons et les filles est statistiquement significative, ou elle atteint une valeur moyenne de 13,5 pour les garçons et une valeur moyenne de 13,885 pour les filles, ce qui nous permet de constater que l'âge osseux des filles est légèrement plus avancé que celui des garçons.

Selon B. Mokhtar, (2017) un développement précoce de certaines caractéristiques des fonctions physiques peut être avantageux pour les filles. Ce n'est qu'à treize ans et demi que cet avantage est rattrapé par les garçons. La poussée de croissance pubertaire est plus tardive chez les garçons que chez les filles. En moyenne, les garçons grandissent de près de 9,5cm par année pendant la poussée de croissance. Cette poussée des garçons se produit souvent plus tard que celle des filles. L'âge osseux des filles est nettement plus élevé que celui des garçons. Pour la comparaison des deux sexes et pour les deux groupes, les enfants qui pratiquent une activité physique sportive ont un système squelettique plus mature que ceux qui ne pratiquent pas un sport de compétition. Plusieurs auteurs parlent de l'impact de l'activité physique sur la formation et la croissance des tissus osseux, (Robling, 2005, in Expertise collective, 2008).

- *Différence entre âge chronologique et âge osseux*

Les résultats que nous avons obtenus pour les garçons indiquent une différence statistiquement significative entre leur âge biologique qui est d'une valeur moyenne de 13,5 et leur âge chronologique qui est de 14,257. Ce qui signifie que la maturation biologique des garçons sportifs est légèrement retardée par rapport à leur âge chronologique.

Contrairement aux filles qui pour elles il n'existe pas de différence significative entre l'âge chronologique (14,319) et l'âge biologique (13,885), ce qui signifie que leur maturation biologique est normale.

Selon Boufaroua. M (2017) : « on est souvent confronté au problème du décalage entre l'âge chronologique et l'âge biologique avec les catégories d'âge ». D'ailleurs, les résultats des footballeurs, cadets (U18) ou Juniors (U20) ne reflètent en rien les possibilités sauf pour les athlètes précoces qui ont une avance non négligeable et les faits semblent montrer que ce sont les jeunes à motricité lente qui vont plus loin.

Discussion des résultats

Les sujets présentant un âge biologique plus avancé par rapport à leur âge chronologique sont plus grands, plus lourds, plus forts, plus puissants et ont une plus grande puissance aérobie et une masse maigre plus importante que les sujets dont la maturation est retardée Malina et al, (2004). Par conséquent, dans les sports dans lesquels ces caractéristiques sont avantageuses, les sportifs en avance de maturation sont plus susceptibles d'être sélectionnés par rapport à ceux dont la maturation est tardive Vaeyens et al, (2005). Pour ces raisons, l'évaluation et la détection des jeunes joueurs devrait toujours être faite en tenant compte de leur âge biologique et leur stade de maturation.

Tous les sports ne possèdent pas le même retentissement sur la croissance. L'effet est maximal pour les sports qui nécessitent un entraînement intensif et/ou un contrôle du poids. La population la mieux étudiée est celle des gymnastes soumises dès l'âge de 8 ans à un entraînement d'une vingtaine d'heures par semaine. Les études retrouvent l'existence d'un ralentissement de la vitesse de croissance.

Une autre étude sur les danseuses, comparant la taille des danseuses et sujets contrôlés à l'âge de 13 et 14 ans. A montré qu'elles atteignaient une taille normale un à deux ans après leurs ménarche qui est généralement retardé (Adam, 2011).

Conclusión

Conclusion

La croissance se définit comme un processus biologique qui consiste en une augmentation des dimensions du corps ou les organes tandis que la maturation se traduit par l'amélioration progressive de la fonction des organes et des systèmes biologiques vers un fonctionnement adulte. Le terme « développement » comprend les deux phénomènes de croissance et de maturation. Enfin, le terme « jeune » se réfèrera à la fois aux enfants et aux adolescents et le terme « sportif » signifiera que l'individu pratique régulièrement un ensemble d'exercices physiques de façon individuelle ou collective pouvant donner lieu à des compétitions.

La puberté a été caractérisée comme une phase intensive des processus de développement et comme une étape très importante pour la formation des fonctions motrices. L'évaluation de la maturité est biologiquement favorable pour le développement des capacités physiques.

L'objectif principal de l'évaluation de l'âge osseux chez les enfants scolarisés pratiquants une activité physique sportive compétitive est de connaître le niveau de maturation chez ces derniers. Elle permet de déterminer l'impact et l'effet de l'activité physique sur cette maturation, qui donne une représentation globale de la santé de ces enfants.

Dans le sport et plus particulièrement chez les plus jeunes, l'activité physique a un impact sur leur santé et leur épanouissement dans leur croissance et développement, il est essentiel de bien comprendre comment la croissance et la maturation de l'organisme conditionnent les capacités physiques et comment en retour l'activité physique peut affecter la croissance et la maturation.

Au terme de notre recherche sur l'estimation de la maturation biologique des nageurs âgées de 9 à 16ans, il y'a eu lieu d'affirmer que la maturation biologique des filles est avancée comparée à celle des garçons.

En se focalisant seulement sur l'état de l'âge osseux des filles, on a constaté que leur maturation biologique est normale par rapport à leur âge chronologique. Ce qui n'est pas le cas des garçons qui pour eux leur maturation est légèrement retardée comparée à leur âge chronologique.

Conclusion

Pour conclure, il nous paraît important de confirmer que l'entraînement sportif intense influence sur la maturation biologique des enfants que ce soit en l'avancant ou en la retardant.

Il nous paraît nécessaire de proposer certaines recommandations dans l'espoir qu'elles apportent un plus dans le développement des enfants. A savoir :

- L'activité physique doit être orientée en fonction des possibilités propres de l'enfant en fonction de ses aptitudes et capacités.
- Prendre en considération l'âge biologique des jeunes athlètes dans les contenus d'entraînement qui leur sont proposés.
- Tenir compte de la période du pic de vitesse de croissance car l'enfant est fragile et un entraînement intense inapproprié pourrait induire des blessures et avoir un impact négatif sur sa santé.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **ADAM THIERRY**, (2012): « Gynécologie du sport », Springer.
2. **BAILEY S.M., GERSHOFF S.N et MCGANDY R.B**, (1984): A longitudinal study of growth and maturation in rural Thailand. *Human Biology*.
3. **BILLEWICZ W.Z**, et **MCGREGOR I.A**, (1982): A birth-to-maturity longitudinal study of heights and weights in two West African (Gambian) villages 1951-1975. *Annals of Human Biology*.
4. **BOGIN B**, (1988): *Patterns of Human growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
5. **BOUFAROUA M et al**, (2017): L'entraînement sportif pendant la période pubertaire. *Laboratoire des sciences biologiques appliquées au sport, ES/STS Dely-Brahim*.
6. **BUPNS E.C, TANNER J.M, PREECE M.A ET CAMERON N**, (1981): Final height and pubertal development in 55 children's with idiopathic growth hormone deficiency, treated for between 2 and 15 years with human growth hormone. *European journal of Pediatrics*.
7. **COLOMBO A**, (08 juin 2015): « La microarchitecture de l'os trabéculaire en croissance : Variabilité traditionnelle normale et pathologique analysé par microtomodensitométrie ».
8. **Cpc.ca** (2017) : Grandir : de l'information pour les garçons au sujet de la puberté. Soins de nos enfants. Société Canadienne de Pédiatrie. Consulté en octobre 2017 du site www.soinsdenosenfants.cpc.ca/cpa.ca/handouts/behaviour-and-development/information_for_boys_about_puberty.
9. **DEHEEGER M**, et **ROLLAND-CACHERA M.F**, (2004): Longitudinal study of anthropometric measurements in Parisian children aged ten months to 18 years. *Archives de Pédiatrie*.
10. **DEPREUX R ET FONTAINE M**, (1951): Poussées et crises de croissance de l'humérus et du Fémur fœtaux. Etude de comparative. *Bulletins et mémoires de la société d'anthropologie de Paris*.
11. **DUCHE P, VAN PRAAGH E**, (2009): *Activités physiques et développement de l'enfant*.

Références bibliographiques

- 12. ELEVETH P.B ET TANNER J.M**, (1990): *Worldwide variation in human growth* Cambridge: Cambridge university Press.
- 13. FINA**, (2017-2021) : règlement de la natation course, federation international de natation.
- 14. FITS CHBEIN S**, (1983): Intra-pair similarity in physical growth of opposite-sex twin pairs during puberty. *Annals of Human Biology*.
- 15. FRISANCHO A.R et BAKER P.T**, (1970) - Altitude and growth: a study of the patterns of physical growth of a high altitude Peruvian Quechua population. *American Journal of Physical Anthropology*.
- 16. FROMENT A**, (1986): Aspects nutritionnels de l'anthropologie. In: **FEREMBACH D, SUSANNE C, et CHAMLA M.C**, (eds.), *L'homme, son évolution, sa diversité*. Paris: CNRS.
- 17. GILLOT B, et BERNARD S**, (1965): Les répercussions sur la croissance des facteurs nutritionnels. 20^{ème} congrès des Pédiatres de langue française.
- 18. GODIN P**, (1935): Recherches anthropométriques sur la croissance des diverses parties du corps, Paris : A. Legrand.
- 19. GREENE L.S**, (1973): Physical growth and development, neurological maturation and behavioral functioning in two Ecuadorian Andean communities in which goiter is endemic. I. Outline of the problem of endemic goiter and cretinism. Physical growth and neurological maturation in the adult population of La Esperanza. *American Journal of Physical Anthropology*.
- 20. GUTHRIE H.A**, (1986): *Introducty Nutrition*. Saint Louis: Mosby Inc.
- 21. HOPPA R.D ET FITZGERALD C.M**, (1999): *Human growth in the past*. Cambridge University, Press.
- 22. JEROME.C. PIERRE.J**, (2009): « Orthopédie pédiatrique membre supérieur », Masson.

Références bibliographiques

- 23. JOHNSTON F.E**, (1998): Hormonal regulation of growth in child hood and puberty. In: **ULIJASZEK F.E ET PREECE M.A** (Eds). The Cambridge encyclopedia of human growth and development, Cambridge: Cambridge University Press.
- 24. KARLBERG J**, (1998): The human growth curve. In: **ULIJASZEK J, JOHNSTON F.E ET PREECE M.A**, (Eds), the Cambridge encyclopedia of human growth and development. Cambridge: Cambridge University Press.
- 25. KIMURA K**, (1984): Studies on growth and development in Japan. *American Journal of Physical Anthropology*, 65, SUPPL. 5.
- 26. KING S.E** et **ULIJASZEK S.J**, (1999): Invisible insults during growth and development: contemporary theories and past populations. In: **HOPPA R.D** et **FITZGERALD C. M**, (eds.), *Human growth in the past*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 27. LAROUSSE**, dictionnaire français, <https://www.larousse.fr>.
- 28. MARESH M**, (1970): Measurements from roentgenograms, heart size, long bones lengths, bone, muscles and fat widths, skeletal maturation, In: **MCCAMMON R.W**, (ed.) Human growth and development. Springfield: **Charles C. Thomas**.
- 29. MARIEB N**, (1998): « Anatomie et physiologie humaine » Debock.
- 30. MARKOWITZ S.D**, (1955): Retardation in growth of children in Europe and Asia during World War II. *Human biology; an international record of research*.
- 31. NICOLINO M. ET FOREST M.G** (2001): La puberté In: **THIBAUT C. ET LEVASSEUR M-C** (eds), La reproduction chez les mammifères et l'homme. Paris, Ellipses, INRA.
- 32. PINEAU H**. (1965): La croissance et ses lois, Paris : Université de Paris. Laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine.
- 33. PRICHETTE J.W** **1991-GROWTH** plate activity in the upper extremity. Clinical orthopedics and Related Research.

Références bibliographiques

- 34. PRICHETTE J.W**, (1992): Longitudinal growth and growth-plate activity in the lower extremity-clinical orthopaedics and Related Research.

- 35. SUSANNE C**, (1991): Croissance et développement, de la génétique au milieu. Bulletins et mémoires de la société d'anthropologie de Paris.

- 36. TAKAHASHI E**, (1984): Secular trend in milk consumption and growth in Japan. *Human Biology*.

- 37. TORTORE G.J, DCRRICKSON B, MARTIN L et FOREST M**, (2007): principes d'anatomie et de physiologie, Bruxelles, De Boeck.

- 38. ULJASZEK S.J, JOHNSON F.E ET PRECE M.A**, (1998): The Cambridge encyclopedia of human growth and development. Cambridge: Cambridge University Press.

- 39. Vaeyens R., Philippaerts R.M, Malina R.M**, (2005): The relative age effect in soccer: a matchrelated perspective. *J Sports Sci*.

- 40. VALENTIN J. et STREFFER.C** (2002): Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: Reference values – ICRP Publication 89. *Annals of the ICRP*.

- 41. ZEMEL B.S et KATZ S.H**, (1986): the contribution of adrenal and gonadal and ogens to the growth in height of adolescent males. *American Journal of Physical Anthropology*.

L'estimation de la maturation biologique des enfants sportifs âgés de 12 à 16ans : approche radiographique et anthropométrique

Résumé

La présente étude traite la croissance anthropométrique et la maturation osseuse d'un groupe d'athlètes « nageurs » âgés de 9 à 16 ans de la ville de Bejaia. Notre recherche s'est déroulée en 2024, l'échantillon de notre travail est constitué de 57 athlètes des deux sexes appartenant au club OCBéjaia.

Les données des enfants ont été récoltées à partir des mesures anthropométriques qui sont : le poids, la taille debout, la taille assis et la longueur des membres inférieurs. L'évaluation de la maturation osseuse des enfants a été faite à partir des radiographies de la main et du poignet gauche selon l'Atlas de Sempé.

Les analyses ont montré que dans l'ensemble, la croissance des filles est normale et celle des garçons est légèrement retardée par rapport à l'âge chronologique.

Mots clés : Age chronologique, âge biologique, maturation et croissance.

Abstract

The present study deals with the anthropometric growth and bone maturation of a group of swimmers aged 9 to 16 from the city of Bejaia. Our research was conducted in 2024, and the sample for our study consisted of 57 athletes of both sexes belonging to the OCBéjaia club.

The children's data were collected from anthropometric measurements including weight, standing height, sitting height, and lower limb length. Evaluation of the children's bone maturation was done using radiographs of the left hand and wrist according to the Sempé Atlas.

The analyses showed that overall, the growth of girls is normal, while that of boys is slightly delayed compared to chronological age.

Keywords : Chronological age, biological age, maturation, and growth.

المخلص

تناولت هذه الدراسة "النمو الأنثروبومتري ونضج العظام لمجموعة من رياضيي السباحة" الذين تتراوح أعمارهم ما بين 9 و16 سنة من مدينة بجاية، مع عينة مكونة من 57 رياضياً من الجنسين ينتمون إلى نادي الأوركا بجاية للسباحة سنة 2024. جمعنا بيانات الأطفال باستخدام القياسات الأنثروبومترية: الوزن والطول أثناء الوقوف والطول أثناء الجلوس وطول الأطراف السفلية، واستند تقييم نضج عظام الأطفال على الأشعة السينية لليد والمعصم الأيسر وفقاً لأطلس سيمبي، وأظهرت التحليل أن نمو الفتيات كان طبيعياً بشكل عام بينما كان نمو الفتيان متأخراً قليلاً عن العمر الزمني.

الكلمات الرئيسية: العمر الزمني والعمر البيولوجي والنضج والنمو.