

# Première partie

## Chapitre 1

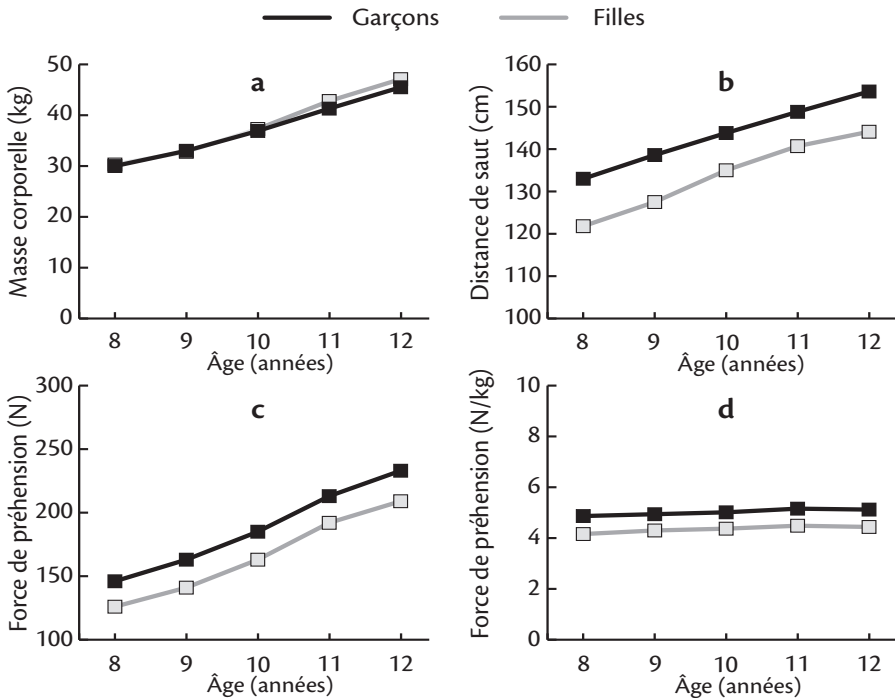
# Croissance et maturation de l'enfant

Éric Doré, Emmanuel van Praagh

## 1. Introduction

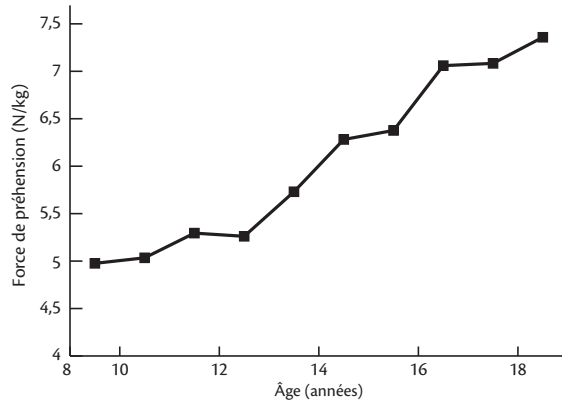
Les aptitudes physiques et/ou sportives de l'enfant sont étroitement liées aux modifications ayant lieu au cours de son développement. Ces relations peuvent être mises en évidence en observant l'augmentation similaire des résultats aux tests physiques et des dimensions du corps (fig. 1-a à fig. 1-c). Chez l'enfant prépubère, la stabilité de ces résultats avec l'âge, lorsqu'ils sont exprimés de façon relative (rapportés à la masse corporelle), confirme l'étroitesse de ces relations (fig. 1-d). Cette évolution des dimensions corporelles définit la notion de croissance, qui est donc un phénomène de type quantitatif.

Fig. 1. Évolution de la masse corporelle, de la performance au saut en longueur et de la force de préhension chez 4 609 garçons et 4 329 filles âgés de 8 à 12 ans. (D'après les données de Heyters et Marique, 2011.)



Toutefois, on s'aperçoit qu'à partir du début de l'adolescence, la vitesse d'accroissement des performances est supérieure à celle des dimensions corporelles, en particulier chez le garçon (fig. 2). Il existe donc d'autres facteurs qui expliquent les différences de performance : parmi ceux-ci, l'apprentissage est un facteur important. Mais, on peut aussi émettre l'hypothèse d'une amélioration qualitative des fonctions corporelles : ces changements qualitatifs font référence à la notion de maturation.

Fig. 2. Force de préhension exprimée en fonction de la masse corporelle chez des garçons âgés de 9 à 20 ans (n = 552). (Doré, 1999.)



Après avoir précisé les notions de croissance et de maturation et les méthodes d'évaluation, ce premier chapitre a pour objet de montrer l'évolution des dimensions corporelles et des caractéristiques des différents tissus et systèmes fonctionnels. Enfin, les interrelations avec l'activité physique seront envisagées.

## 2. Croissance et maturation

Ces deux phénomènes biologiques concourent au développement de l'enfant et de l'adolescent. Ils peuvent être indépendants ou en interrelation, simultanés ou successifs, selon la période de la vie et l'objet d'étude (corps entier, organes, tissus).

La croissance peut être définie comme une augmentation progressive des dimensions du corps, d'un organe ou d'un tissu (longueurs, surfaces, volumes). Si la croissance est caractérisée par une hyperplasie importante (augmentation du nombre de cellules) au tout début de la vie intra-utérine, elle est aussi liée à l'hypertrophie de ces cellules (augmentation de leurs dimensions) pendant la période de l'enfance et de l'adolescence. Le troisième phénomène impliqué dans la croissance est l'augmentation des substances intercellulaires (nommé *accrétion*). La croissance n'est cependant pas uniforme : ceci est vrai à la fois pour les dimensions corporelles physiques et pour les différents systèmes biologiques. L'éducateur doit en tenir compte, car ceci peut avoir des conséquences sur les futures activités motrices (performances sportives) de l'enfant.

La maturation est, elle, définie comme une progression de la fonction (mise en jeu, adaptation à l'environnement) d'un organe ou d'un système biologique jusqu'à son état de maturité, qui correspond au fonctionnement adulte. À l'instar de la crois-

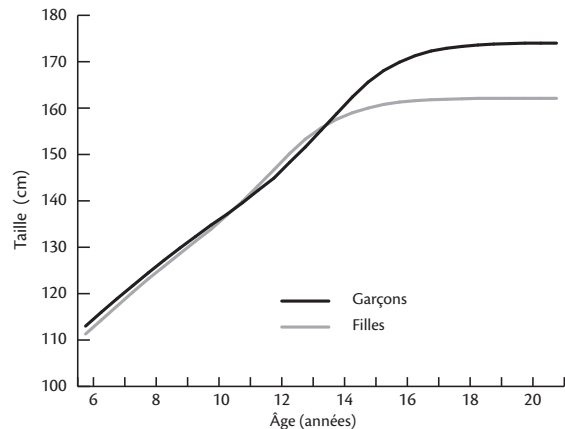
sance, la maturation suit un rythme différent d'un système à l'autre. Elle est aussi caractérisée par les moments d'apparition d'événements précis (apparition des premières règles, etc.). Ce processus dynamique est donc continu mais pas linéaire. La période critique a lieu entre 11 et 16 ans et de manière plus précoce chez les filles que chez les garçons : c'est la puberté. Le début de la puberté marque le passage de l'enfance à l'adolescence. L'âge biologique fait état de l'avancée dans la maturation : il est possible d'observer des écarts de 3 à 4 ans d'âge biologique pour deux individus ayant le même âge chronologique. Par conséquent, l'éducateur sportif doit prendre en compte l'avance ou le retard biologique dans l'analyse des performances de l'adolescent, puisque ces données détermineront en partie la marge de progression d'un enfant ou d'un adolescent. Si elle ne reflète pas le même type de modifications (quantitative vs. qualitative), la croissance est cependant étroitement reliée à la maturation : par exemple, la croissance du tissu musculaire est dépendante de la maturation du système hormonal (cf. chapitre 2 : « Développement physiologique au cours de la croissance : le système endocrinien »).

### 3. Croissance générale de l'enfant

#### 3.1. Croissance en taille

L'augmentation de la stature est continue depuis l'enfance jusqu'à l'âge adulte. Deux phases remarquables d'accroissement dimensionnel, entrecoupées d'une phase de progression régulière, sont observées : l'une avant l'âge de deux ans, et l'autre au cours de la puberté. Au cours de cette dernière période, la phase d'accroissement remarquable (pic de croissance) de la fille est plus précoce mais beaucoup plus brève que celle du garçon, ce qui engendre rapidement des différences filles/garçons (fig. 3).

Fig. 3. Taille des garçons et des filles de 6 à 21 ans dans la population française. (D'après les données de Sempé et coll., 1979.)

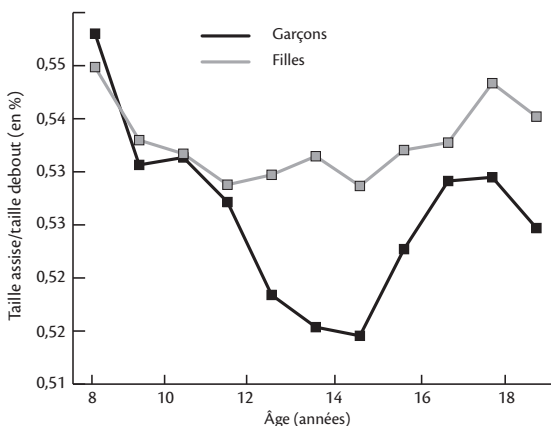


La taille des parents influence incontestablement celle des enfants même si cette dernière est modérément corrélée à celle des parents ( $r = 0,50$ ). Dans le domaine de la détection sportive, la notion de « taille-cible » est parfois utilisée selon différentes formules issues d'observations :

Taille cible = (taille père + taille mère ± 13) / 2 (+ pour les garçons ; - pour les filles)

Il existe également des variations de proportions tête/tronc/membres inférieurs, liées à l'accroissement asynchrone des différentes parties du corps. Par exemple, en terme relatif, le nouveau-né a plutôt une « grosse tête ». Chez l'adolescent, l'évolution du rapport tronc/membres inférieurs est souvent estimée à partir du rapport taille assis/taille debout. Ce dernier diminue chez le garçon à l'adolescence (fig. 4). Ce résultat est à prendre en compte dans l'analyse des résultats, comme par exemple pour un test souplesse de la chaîne musculaire postérieure (« Sit & Reach test »).

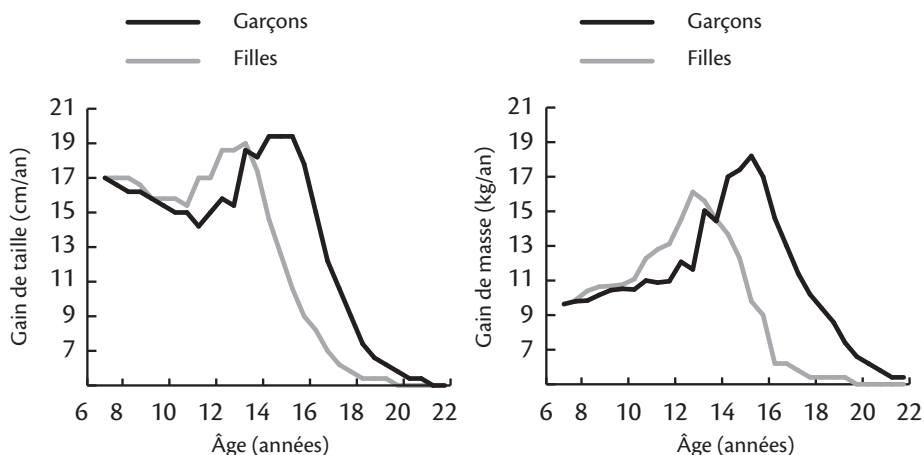
Fig. 4. Rapport entre la longueur tronc et celle des membres inférieurs chez des jeunes filles (n = 618) et des jeunes garçons âgés (n = 594) de 7 à 20 ans. (Doré, 1999.)



### 3.2. Croissance pondérale

L'évolution de la masse corporelle n'est toutefois pas identique à celle de la stature. En particulier, à l'inverse de la taille, la vitesse d'accroissement de la masse corporelle est en augmentation légère entre 2 et 10 ans et le pic de croissance pondérale est beaucoup plus marqué à l'adolescence (fig. 5).

Fig. 5. Vitesse d'accroissement de la taille et de la masse corporelle. (D'après les données de Sempé et coll., 1979.)



### 3.3. Évolution morphologique

Au-delà des mesures de masse et de taille, la croissance de l'enfant peut être étudiée par sa forme corporelle : cette dernière est exprimée selon les rapports existant entre ses dimensions corporelles. Les deux concepts les plus utilisés sont la corpulence, qui permet notamment de définir l'adéquation masse corporelle/stature, et le somatotype permettant d'évaluer le caractère linéaire ou massif des individus.

#### *La corpulence*

L'indice de Quételet ou Indice de Masse Corporelle (IMC) représente l'indice de corpulence le plus communément utilisé :

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

Plus que la valeur observée, c'est son évolution au regard des références de la population qui est utilisée pour déterminer les problèmes de surpoids ou d'insuffisance pondérale au cours de la croissance (cf. chapitre 15 : « L'obésité infantile »). Après un pic obtenu vers l'âge de 1 an, l'IMC diminue jusque vers 6 ans environ, âge auquel il connaît une nouvelle augmentation jusqu'à l'âge adulte : cette phase est celle du « rebond d'adiposité ». Lorsque ce rebond d'adiposité débute précocement, l'enfant est considéré comme étant « à risque ».

#### *Le somatotype*

La morphologie peut s'exprimer au regard de trois composantes du somatotype :

- l'endomorphisme, caractérisé par des formes arrondies et plutôt molles (graisseuses) et que l'on peut évaluer à partir de la somme de plis cutanés ;
- le mésomorphisme, caractérisé par une prédominance du volume musculaire notamment au niveau de la partie supérieure du tronc, qui peut être évalué au regard du rapport entre masse maigre et taille ;
- l'ectomorphisme, caractérisé par une prédominance des formes linéaires et qui peut s'évaluer par des rapports taille/poids ou superficie corporelle/volume élevés .

La morphologie d'une personne peut alors être exprimée, à partir de photographies et de mesures anthropométriques, par une série de 3 chiffres entre 1 et 7, représentant le niveau de ces trois composantes, dans cet ordre. Une personne avec un profil très équilibré sera définie par la série 444 tandis qu'une personne notée 117 aura un profil ectomorphe extrême.

Il est assez courant de maintenir un somatotype similaire pendant toute la période de croissance (Malina et Bouchard, 1991). Des changements du somatotype sont parfois notés mais les études sont contradictoires (Rebato et Rosique, 2003). De manière générale, on note à l'adolescence une tendance à l'augmentation du caractère endomorphique chez les filles tandis que, chez les garçons, on observe généralement une augmentation du caractère endomésomorphique. Il faut surtout noter que les caractères endomorphiques témoignent plutôt d'une distribution de graisse au niveau central (facteur de risque pour les maladies cardiovasculaires et métaboliques) tandis qu'une distribution de la graisse au niveau périphérique est plutôt liée à un caractère ectomorphe.

### 3.4. Valeurs de référence

Depuis les études de Sempé (1979) concernant des cohortes d'enfants nés entre 1953 et 1960, la France n'a pas proposé de nouvelles références complètes et longitudinales de l'évolution des dimensions corporelles. Il a été pourtant clairement montré des évolutions séculaires de la taille depuis le XIX<sup>e</sup> siècle dans d'autres pays industrialisés avec des tailles moyennes plus élevées et une croissance plus rapide (Vercauteren, 2003). Parallèlement à l'augmentation de la taille, depuis le début des années 1980, il est clairement observé une augmentation des valeurs moyennes de masse corporelle (Deheeger et Rolland-Cachera, 2004), sans aucun doute liée à l'augmentation du surpoids et de l'obésité dans les sociétés occidentales (Rolland-Cachera et coll., 2006).

## 4. Évaluation de la maturation

S'il est aisé pour l'éducateur sportif de constater la taille d'un enfant ou d'un adolescent, l'évaluation de l'avancée de la maturation est moins accessible. On distingue trois principaux indicateurs de la maturation : somatique, osseux et sexuel. Dans le domaine de l'activité physique, l'évaluation de la maturation a principalement pour objet d'évaluer si l'individu est entré dans sa phase pubertaire et à quel niveau il se situe.

### *La maturation somatique*

Cette évaluation est fondée sur le suivi longitudinal de la croissance en taille. Comme nous l'avons mentionné précédemment, cette dernière est caractérisée par un pic de croissance (PC) pendant la puberté. L'évolution de la vitesse d'accroissement de la taille (fig. 5) et l'atteinte ou non de ce pic de croissance sont utilisées comme témoin de la maturation. Cette méthode simple présente toutefois des limites. S'il est aisé de définir un âge de « maturation somatique » après le pic de croissance (par exemple : PC + 1 an), ou de constater le début de la phase ascendante, il est plus difficile au cours de cette dernière de déterminer précisément la durée de celle-ci et le niveau du PC. Mirwald et coll. (2002) ont proposé des équations de prédiction de l'âge du pic de croissance en fonction de mesures somatiques (taille, taille assise, masse corporelle) et de l'âge chronologique. Bien que cette méthodologie ne permette pas de définir précisément le niveau de maturation, elle représente une méthode de terrain simple permettant d'établir des catégories de niveau de maturation.

### *La maturation sexuelle*

L'évaluation de la maturation sexuelle est fondée sur les « caractères sexuels secondaires ». En 1962, Tanner a défini cinq stades de développement fondés sur le développement des organes génitaux (G) pour les garçons et sur le développement des seins (S) pour les filles. Cinq stades sont aussi définis pour la pilosité pubienne (P) dans les deux sexes. Comme la pilosité ne suit pas obligatoirement le même développement que les seins ou les organes génitaux, chaque individu peut être caractérisé par une double notation : par exemple G2P1 pour un garçon signifie un stade 2 pour le développement des organes génitaux et un stade 1 pour le développement des poils pubiens (tableau 1).

Tableau 1. Description des stades de développement pubertaire. (D'après Tanner, 1962.)

Stade	Filles	Garçons
	<i>Poils pubiens</i>	<i>Poils pubiens</i>
<b>Stade 1</b>	Apparition de quelques poils à peine pigmentés particulièrement le long des lèvres.	Le duvet pubien ne se distingue pas de celui de la région abdominale.
<b>Stade 2</b>	Sur les lèvres et le pubis, les poils plus nombreux sont frisés et pigmentés mais encore clairsemés.	Apparition de quelques poils éparses, longs, droits ou légèrement bouclés et pigmentés ; habituellement des deux côtés de la base du pénis.
<b>Stade 3</b>	Poils pubiens d'apparence adulte mais sur une étendue encore réduite.	Les poils s'étendent sur la symphyse pubienne, entourant la base du pénis ; ils sont plus denses, plus épais, bouclés et pigmentés.
<b>Stade 4</b>	Propagation latérale couvrant le triangle pubien.	La pilosité pubienne a un aspect adulte mais reste limitée en étendue au pli inguinal et en hauteur.
<b>Stade 5</b>	Augmentation en densité et extension latérale vers les cuisses et parfois vers le haut.	Extension de la pilosité d'apparence adulte sur la face interne des cuisses et le plus souvent sur la ligne blanche de la région abdominale.
	<i>Seins</i>	<i>Organes génitaux</i>
<b>Stade 1</b>	Aspect infantile avec seulement la proéminence du mamelon.	Les testicules, le scrotum et le pénis sont de même taille que chez l'enfant.
<b>Stade 2</b>	Stade du bouton avec une élévation de l'aréole du sein qui augmente en diamètre et qui donne une sensation de dureté à la palpation ; la région périphérique de l'aréole est légèrement soulevée.	Élargissement du scrotum et des testicules. La peau du scrotum se plisse et prend une teinte plus foncée alors que le pénis se modifie peu.
<b>Stade 3</b>	Le gonflement s'accroît et donne la forme arrondie mais réduite du sein féminin adulte.	Le pénis s'élargit légèrement et s'allonge davantage, le scrotum accentue sa descente et les testicules sont plus grands.
<b>Stade 4</b>	Une élévation secondaire de l'aréole se superpose à celle du sein ; chez certaines femmes, cette superposition persiste à l'âge adulte.	Augmentation de la taille du pénis et modelage du gland. La pigmentation du scrotum est accentuée.
<b>Stade 5</b>	Stade adulte avec un contour général arrondi et habituellement affaissement de l'aréole dont la pigmentation se renforce.	Stade adulte. Scrotum et pénis sont de taille adulte.

Compte tenu de la difficulté d'évaluation de ces caractères sexuels secondaires pour un praticien de l'activité physique, il est possible de demander à l'adolescent de s'auto-évaluer (De França, 1999). Toutefois, il semble que les sujets aient tendance à surestimer les premiers stades et à sous-estimer les derniers stades de maturation. L'appel à d'autres caractères secondaires est aussi une solution envisageable. L'âge des

premières règles chez la fille constitue l'indicateur le plus précis, mais il ne permet de donner qu'un seul point de référence (pas d'information avant l'atteinte de ce dernier) qui, de plus, ne peut être considéré comme le début de la puberté. La mue de la voix et la pilosité faciale chez le garçon, ainsi que la pilosité axillaire dans les deux sexes peuvent être utilisées de manière simple et rapide, mais ne sont pas toujours très représentatives du développement (tableau 2). Pineau et coll. (1988) avaient toutefois montré qu'une estimation « démedicalisée » de l'âge physiologique à partir de ces paramètres mais aussi du développement des seins et de l'âge de la première menstruation chez les filles, permettait de mieux expliquer le développement des capacités physiques que l'âge chronologique, notamment chez le garçon.

Tableau 2. Évaluation du niveau de puberté à partir de caractères sexuels secondaires.

<b>Pilosité axillaire</b>	Stade 1 : Absence Stade 2 : Présence éparse Stade 3 : Pilosité adulte
<b>Mue de la voix (garçons)</b>	Stade 1 : Absence Stade 2 : Mue intermédiaire Stade 3 : Voix muée, adulte
<b>Pilosité faciale (garçons)</b>	Stade 1 : Absence Stade 2 : Apparition et coloration de poils aux coins de la lèvre supérieure qui s'étendent ensuite vers une légère moustache complète Stade 3 : Développement de la pilosité sur la partie supérieure des joues et au milieu de la base de la lèvre inférieure Stade 4 : La pilosité se développe sur les bords et la pointe du menton
<b>Apparition des règles (filles)</b>	Âge chronologique de la ménarche

### **La maturation osseuse**

C'est la méthode la plus précise mais aussi la moins accessible à l'entraîneur ou l'éducateur sportif puisqu'elle est fondée sur les changements du squelette à partir de radiographies du poignet et de la main (cf. chapitre 2 : « Développement physiologique au cours de la croissance : le système osseux »). Elle permet aussi d'évaluer l'âge biologique avant la phase pubertaire.

Les indicateurs de la maturité sont représentés par les accroissements de chaque os de la main depuis l'ossification initiale jusqu'à la maturité adulte. On distingue deux méthodes d'évaluation de l'âge osseux, ce dernier étant généralement comparé à l'âge chronologique pour définir si l'enfant est plutôt en retard ou plutôt en avance :

- la méthode de l'Atlas (Greulich et Pyle, 1959) : c'est une méthode descriptive visant à comparer la radiographie d'un enfant avec un atlas de référence (clichés standards). On peut retrouver des clichés de ce type dans l'ouvrage de Sempé et coll. (1979) ;
- la méthode numérique (Tanner et coll., 1975) : à partir de l'accroissement de 20 os du poignet de la main, la somme de ces 20 cotations est convertie en âge osseux.



Il faut noter qu'un logiciel permettant d'évaluer l'âge biologique d'un enfant a été développé par une société française.

## 5. Développement des tissus

### 5.1. Tissu osseux

Si la croissance des os longs en particulier va déterminer la croissance staturale, la qualité de la trame du tissu osseux est essentielle pour la vie de tous les jours et l'activité physique. Le squelette représente en effet le point d'ancrage des muscles permettant le mouvement. Chez le fœtus, le squelette est tout d'abord cartilagineux. La transformation du cartilage en os dès la vie intra-utérine par le processus dit « d'ossification » constitue un élément essentiel de la santé et de la solidité des os. La croissance des os est donc couplée au processus de maturation. Il faut noter que les tractions et pressions exercées sur l'os favorisent l'augmentation de la densité minérale osseuse, d'où l'importance de la pratique d'activité physique chez l'enfant (cf. chapitre 2 : « Développement physiologique au cours de la croissance : le système osseux »).

Les os longs sont formés d'une diaphyse (partie centrale) et de deux épiphyses (aux extrémités). Chez l'enfant, les parties centrales et les extrémités sont osseuses : la croissance en longueur des os se fait donc essentiellement entre les deux, au niveau du cartilage de conjugaison. Les cellules cartilagineuses prolifèrent du côté de l'épiphyse tandis qu'elles s'ossifient du côté de la diaphyse, contribuant à la croissance de l'os en longueur et à son ossification. Le cartilage de conjugaison représente donc une zone sensible chez l'enfant, autant par son importance dans le processus de développement de l'os que par sa fragilité, puisque en attente d'ossification. Parallèlement, l'os va croître en largeur, ceci contribuant au maintien de l'intégrité du squelette. Ce phénomène est dénommé *apposition périostée* (le périoste étant la membrane conjonctive qui entoure l'os) et suit une évolution similaire à la croissance de la taille avec des pics juste après la naissance et au moment du pic de croissance staturale.

### 5.2. Tissu adipeux

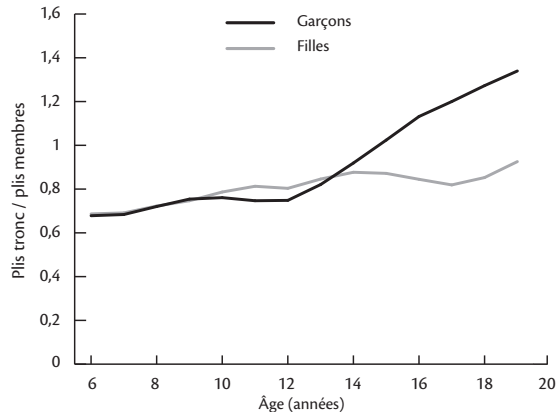
Si la masse corporelle générale augmente avec la croissance, les composantes de cette masse n'évoluent pas de la même façon. Bien qu'un modèle anatomique fasse référence à plusieurs composantes, pour l'éducateur sportif ou dans les études épidémiologiques, un modèle à deux composantes permet de distinguer la masse grasse de la masse maigre. Le rapport de ces deux composantes donne des renseignements intéressants sur le rapport graisse/muscle, les muscles étant le principal facteur de variation de la masse maigre. Les cellules de graisses matures sont dénommées les *adipocytes*. On a longtemps cru que le nombre d'adipocytes était fixé très tôt dans l'enfance, ce qui a entraîné des comportements préventifs surtout avant l'âge de 2 ans. On sait depuis que le nombre d'adipocytes peut croître tout au long de la vie. La taille des adipocytes croît en cas de balance énergétique positive jusqu'à un

certain seuil, puis de nouvelles cellules apparaissent, engendrant une augmentation de la masse grasse.

Les courbes d'évolution de la masse grasse au cours de l'enfance et de l'adolescence sont caractérisées par une différenciation sexuelle notamment au moment de la puberté, conséquence d'une différenciation tant en termes de nombre que de taille des adipocytes. Ceci est lié à la maturation hormonale, et notamment à l'élévation chez la fille du niveau d'œstrogènes dès le début de la puberté (cf. chapitre 2 : « Développement physiologique au cours de la croissance : le système endocrinien »). Au-delà de l'augmentation de la masse grasse totale, la différenciation sexuelle à l'adolescence est aussi présente en termes de répartition des graisses, sur deux points :

- la graisse interne augmente plus que la graisse sous-cutanée chez les filles ;
- la graisse augmente plus au niveau des extrémités chez les filles et notamment au niveau des membres inférieurs (fig. 6), ce qui explique par ailleurs une accumulation de graisse chez les hommes plutôt au niveau abdominal et plutôt au niveau fémoral chez les femmes.

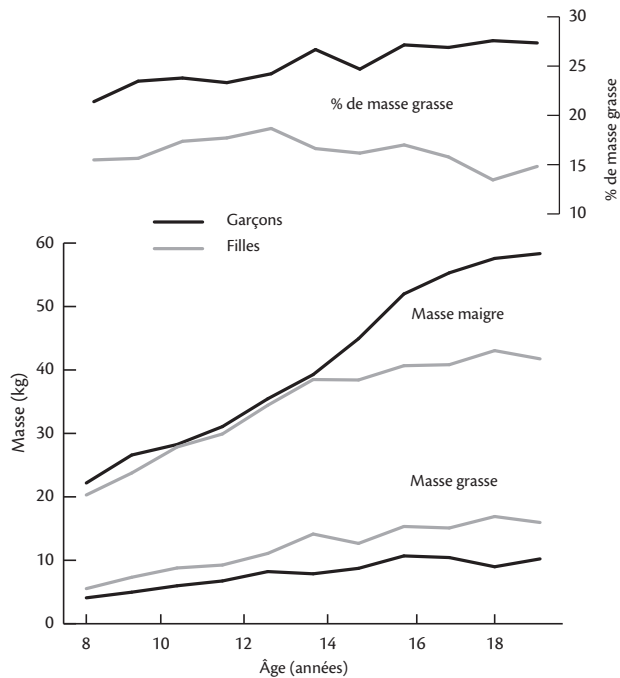
Fig. 6. Évolution au cours de la croissance du rapport entre l'épaisseur des plis sous-cutanés du tronc (pli sous-scapulaire + pli supra-iliaque) et ceux des membres (pli bicipital + pli tricripital). (D'après les données de Sempé et coll., 1979.)



L'évaluation de la composition corporelle peut être effectuée à l'aide de méthodes précises non invasives telles que l'absorptiométrie bi-photonique (DEXA) qui permet de distinguer la densité minérale osseuse comme la masse grasse. Toutefois, ces techniques ne sont pas accessibles aux éducateurs et entraîneurs sportifs. La mesure dite « des plis cutanés » reste la méthode la plus courante. Différents plis peuvent être envisagés : plis sous-scapulaire, supra-iliaque, bicipital et tricripital. En passant par l'estimation de la densité à partir de ces quatre plis, des équations permettant de définir le pourcentage de graisse ont été proposées chez les adolescents de 15 ans par Durnin et Rahaman (1967) et chez des enfants prépubères par Brook (1971). Slaughter et coll. (1988) ont proposé une estimation du pourcentage de masse grasse en utilisant seulement les plis tricripital et sous-scapulaire. Bien que le pourcentage de graisse représente une valeur compréhensible, l'imprécision des formules de prédiction pour un individu donné nous invite à éviter de comparer les individus entre eux et à nous intéresser directement aux plis cutanés. Des références ont été proposées

par Sempé et coll. en 1979. Elles montrent nettement des différences sexuelles dès le début de la puberté, notamment concernant l'évolution de l'épaisseur du pli tricipital. Plus que l'évolution de la masse grasse, les entraîneurs et éducateurs s'intéressent à la part relative de la masse grasse dans la masse totale. En effet, si à la naissance le tissu adipeux représente 10 à 20% de la masse totale, à l'atteinte de la maturité physique il est encore d'environ 15% chez le jeune homme et proche de 25% chez la jeune fille. Toutefois, ces pourcentages sont autant dus à l'augmentation de la masse grasse chez les filles pendant l'adolescence qu'à celle, très marquée, de la masse maigre chez les garçons (fig. 7).

Fig. 7. Pourcentage de masse grasse, masse maigre et masse grasse dans une population de garçons et de filles âgés de 8 à 20 ans. (D'après les données de Doré, 1999.)

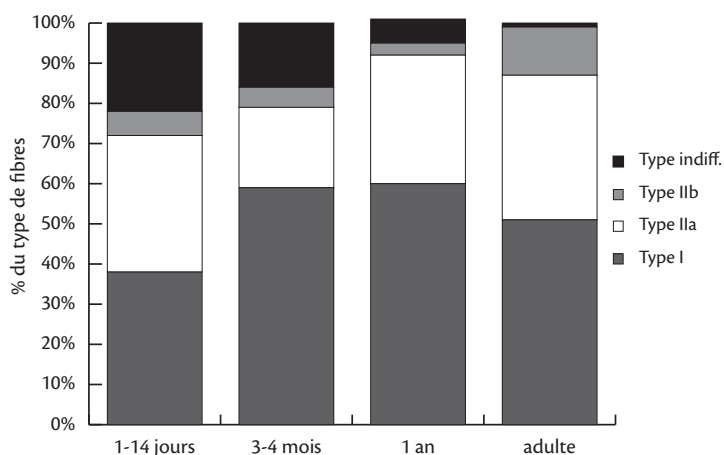


### 5.3. Tissu musculaire

La masse musculaire augmente jusqu'à l'âge adulte. Elle représente environ 25% de la masse totale à la naissance et 40% à l'âge adulte chez la femme, tandis qu'elle peut atteindre plus de 50% chez l'homme. Cette hypertrophie musculaire qui prend sa source au début de l'adolescence est due à l'augmentation très marquée de la production de testostérone (hormone anabolique) chez le garçon lors de la puberté (cf. chapitre 2 : « Développement physiologique au cours de la croissance : le système endocrinien »). La force d'un muscle étant proportionnelle à sa surface de section transversale, il n'est pas étonnant de constater que l'augmentation de la force chez les

garçons suivent une courbe similaire à celle de l'augmentation de la masse musculaire. Parallèlement à l'augmentation de l'épaisseur du muscle, il existe aussi une croissance en longueur qui suit la croissance osseuse. Les données concernant la maturation des fibres musculaires, et notamment l'évolution du type de fibres, sont éparses et contradictoires. Il semblerait que l'enfant passe plutôt d'un profil de type I (fibres oxydatives) vers l'âge de 1 an, ceci étant notamment provoqué par le passage à la station debout, vers un profil plus marqué vers les fibres de type II à l'âge adulte. Toutefois, on peut considérer que, dès la petite enfance, la différenciation et la répartition des types de fibres sont globalement acquises (fig. 8).

Fig. 8. Distribution de la typologie musculaire. (D'après Colling-Saltin, 1980.)



### 5.4. Tissu nerveux

La croissance du système nerveux est très rapide. Notamment, il est bien montré que la taille du système nerveux central a atteint 95% de sa taille adulte vers 7 ans. La maturation est, elle, dépendante de la myélinisation des fibres nerveuses (les fibres nerveuses sont alors entourées d'une gaine de myéline). La myélinisation du système nerveux central et périphérique est plus importante au cours de l'enfance mais se poursuit à l'adolescence. Ces éléments sont importants dans l'analyse des résultats des enfants au cours de tests physiques, puisque la motricité générale (équilibre, adresse, coordination, vitesse) dépend de la myélinisation du système nerveux. Ceci explique que certains progrès moteurs (notamment pour les actions rapides et complexes) ne peuvent être attendus à un certain âge compte tenu du fait que la myélinisation n'est pas terminée.

### 5.5. Croissance du système cardiorespiratoire

L'évolution de la réponse du système cardiorespiratoire à l'exercice aigu au cours de l'enfance et de l'adolescence est décrite dans le chapitre 2. Toutefois, on peut noter un certain nombre de données quantitatives liées à la croissance de ce système.

Avec l'âge, on observe un développement en taille et en section des voies aériennes. Les poumons sont caractérisés par une augmentation du volume environ trois fois plus importante que sa masse : un adulte est donc capable d'inhaler plus d'air qu'un nouveau-né par gramme de poumon. De fait, la capacité vitale augmente, notamment entre 10 et 15 ans. Ceci permet d'augmenter les capacités de ventilation maximale.

La courbe de croissance du cœur (tableau 3) est assez proche de celle de la masse maigre. Chez le fœtus, les cœurs droit (circulation pulmonaire) et gauche (circulation systémique) ont à peu près la même taille, puis, après la naissance, la vitesse de croissance du cœur gauche est largement supérieure à celle du cœur droit. Le nombre et la taille des vaisseaux sanguins augmentent parallèlement ainsi que la force contractile du myocarde. Ceci conduit à une augmentation du volume d'éjection systolique et donc du débit cardiaque.

Tableau 3. Évolution du rapport entre les dimensions du cœur et la masse corporelle.

Âge (ans)	Masse corporelle (kg)	Longueur cœur (cm)	Largeur cœur (cm)	Volume cœur : Vc (cm <sup>3</sup> )	Vc / Masse corporelle (cm <sup>3</sup> /kg)
8	28,4	11,2	9,1	282	10,0
9	30,8	11,8	9,3	312	10,3
10	32,3	11,8	9,6	328	10,1
11	35,6	12,2	9,8	362	10,3
12	38,6	12,4	10,0	395	10,3
13	44,8	13,2	10,4	444	10,1
14	49,0	13,7	10,9	503	10,3
15	56,1	14,1	11,5	551	9,8
16	63,0	14,8	11,9	306	9,6
17	66,7	14,8	12,2	646	9,7
18	66,8	15,3	12,3	671	10,1

Le volume sanguin passe de 300-400 ml à la naissance jusqu'à 5 l chez l'adulte masculin, suivant lui aussi la courbe de croissance de la masse maigre.

## 6. Expression des performances aux tests physiques

La croissance corporelle engendre une augmentation des performances physiques de l'enfance à l'âge adulte. De ce fait, pour étudier l'évolution de ces performances au cours de cette période, il est important de prendre en compte les différences de

dimensions corporelles pour exprimer les résultats aux différents tests. Par exemple, la question n'est pas tant de savoir si la force maximale de préhension d'un adulte est supérieure à celle d'un enfant prépubère mais plutôt si les muscles des membres supérieurs de l'enfant sont plus ou moins forts que ceux de l'adulte. Dans le domaine sportif, cette même question peut être posée pour comparer deux adolescents dont le niveau de développement est différent. Il est néanmoins nécessaire de déterminer quelle valeur anthropométrique est la plus pertinente pour comparer les résultats.

La plupart des performances au cours des tests de laboratoire concernant les exercices de courte durée (puissance musculaire ou Pmax) ou de longue durée (puissance maximale aérobie ou PMA; consommation maximale d'oxygène ou  $VO_2\max$ ) utilisent la masse totale comme méthode de standardisation de la performance: les valeurs sont donc exprimées en watts/kg ou ml  $O_2$ /min/kg. Toutefois, cette standardisation, si elle reste simple à mettre en œuvre et permet une première approche dans les comparaisons qualitatives d'individus de dimensions corporelles différentes, n'en est pas moins imparfaite.

### ***Inadéquation de la masse totale***

La puissance mécanique mesurée est développée par les muscles. De même, la consommation d'oxygène mesurée au niveau ventilatoire est le reflet de la consommation musculaire. Par conséquent, l'expression de ce type de résultat en fonction de la masse corporelle totale pour comparer différents individus de composition corporelle différente (fille vs. garçon; enfant vs. adulte; normopondéré vs. obèse) va désavantager l'individu qui aura le pourcentage de masse grasse le plus élevé. L'indice de masse totale n'est donc pas approprié pour évaluer les différences qualitatives: il faut lui préférer une expression en fonction de la masse maigre, la masse musculaire strictement impliquée dans la production de puissance étant souvent complexe à estimer. Il a ainsi été montré que le volume des membres inférieurs ne représentait pas la même part relative de la masse corporelle chez les enfants prépubères, les adolescents et les adultes, notamment chez le garçon (Doré, 1999).

L'utilisation de la masse totale comme moyen de standardisation de la puissance maximale sur ergocycle pour comparer ces populations n'est donc pas pertinente. L'expression en fonction de la masse corporelle totale se révèle cependant intéressante dans le cadre de la locomotion, par exemple si l'objectif est de répondre à la question: quel individu possède les aptitudes les plus élevées pour déplacer sa propre masse?

### ***Modèle mathématique***

Le rapport standard (N/kg par exemple, pour exprimer la force) est issu d'un modèle mathématique considérant que la relation entre force et masse corporelle est une relation linéaire passant par zéro. Pour autant, les relations biologiques ne sont pas nécessairement de cet ordre. Par exemple, la force d'un muscle est proportionnelle au nombre de ponts actine-myosine en parallèle, c'est-à-dire au nombre de sarcomères en parallèle. Pour comparer des individus ou suivre l'évolution de la force, il faudrait

donc standardiser les résultats en fonction de la surface de section transversale des muscles ( $N/cm^2$ ), ou alors en fonction de son volume (ou de sa masse) à un exposant  $2/3$  ( $N/kg^{0.67}$ ). En effet, selon l'analyse dimensionnelle, le rapport entre les dimensions linéaires ( $L$ ), surfacique ( $L^2$ ) et volumique ( $L^3$ ), implique que la surface soit proportionnelle au volume exposant  $2/3$  (Astrand et Rodahl, 1986). Le modèle alors utilisé est un modèle de type allométrique, modèle répandu dans le domaine biologique. Le cas où l'exposant est égal à 1, qui correspond au rapport standard, est donc un cas particulier.

Les données concernant les propriétés contractiles musculaires montrent que la vitesse de raccourcissement du muscle dépend du nombre de sarcomères en série et doit donc être proportionnelle à sa longueur. En conséquence, la puissance (Force x vitesse) serait en revanche bien proportionnelle au volume ou à la masse musculaire.

## 7. Conclusion

L'évolution de l'enfant est marquée par deux phénomènes concomitants et interdépendants : la croissance, correspondant à une évolution quantitative des dimensions corporelles, et la maturation, correspondant à une évolution des fonctions corporelles. Le début de la puberté, qui marque le passage de l'enfance à l'adolescence, est caractérisé par des modifications importantes telles qu'un gain en masse corporelle et en taille et un dimorphisme sexuel. Les garçons sont notamment caractérisés par une augmentation significative de leur volume musculaire. Pour l'éducateur ou l'entraîneur, la prise en compte de ces phénomènes est importante au moment d'étudier le développement des performances de l'enfant et de l'adolescent. Ces dernières doivent être analysées au regard de l'âge pubertaire, meilleur témoin que l'âge chronologique, que ce soit dans le cadre de la mise en œuvre d'une pratique adaptée au développement et à la santé des individus comme de la prédiction et/ou de l'atteinte de performances sportives.