



HAL
open science

Surpoids chez le jeune joueur de rugby : indicateurs diagnostiques

Gregory Lentin

► **To cite this version:**

Gregory Lentin. Surpoids chez le jeune joueur de rugby : indicateurs diagnostiques. Education. Université de Toulon, 2021. Français. NNT : 2021TOUL1008 . tel-04560555

HAL Id: tel-04560555

<https://theses.hal.science/tel-04560555>

Submitted on 26 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE TOULON

Ecole Doctorale : n°548 Mer et Sciences

Laboratoire : Impact de l'Activité Physique sur la Santé (IAPS)

Section CNU : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (74)

Présentée et soutenue publiquement par

Grégory LENTIN

le 14 décembre 2021

**SURPOIDS CHEZ LE JEUNE JOUEUR DE
RUGBY : INDICATEURS DIAGNOSTIQUES**Thèse dirigée par Pascale DUCHE et Olivier GAVARRY**Jury**

Jean-Marc VALLIER	PU, UFR STAPS, Université de Toulon	Examineur
Sébastien RATEL	MCF-HDR, UFR STAPS, Université Clermont Auvergne	Rapporteur
Denis RACCAH	PU-PH, Faculté de Médecine, Aix-Marseille Université	Rapporteur
Tanguy MARQUESTE	MCF-HDR, UFR STAPS, Aix-Marseille Université	Examineur
Pascale DUCHE	PU, UFR STAPS, Université de Toulon	Directrice
Olivier GAVARRY	MCF, UFR STAPS, Université de Toulon	Co-encadrant
Julien PISCIONE	Responsable Département Accompagnement à la Performance, FFR	Invité

Remerciements

A Monsieur le Docteur Olivier GAVARRY

Je tiens à vous (« te », je n’y arriverai jamais !) remercier pour m’avoir dirigé au cours de cette thèse, à tout moment, à toute heure (parfois très tardivement), la semaine, le week-end (pauvre Kathleen !), en vacances, dans la voiture (attention, elle prend de l’âge, la voiture !), chez vous, dans notre bureau, dans la dernière et longue ligne droite (interminable !) ... Pour votre soutien qui fût exemplaire notamment dans les moments difficiles, lorsque l’on s’interroge sur ce que l’on cherche, lorsque l’on ne comprend plus rien, lorsque le temps nous presse ! lorsque les engagements par ailleurs nous « parasitent » ... ; pour vos conseils, non seulement pour ces travaux scientifiques, mais ceux aussi qui m’ont permis d’orienter mes choix de vie, familiaux, professionnels et ce depuis vingt quatre ans. Très étrange, mais l’écriture amène l’émotion, serait-ce en lien avec un projet prêt à se conclure et/ou quelque chose qui relève de la fraternité, certainement les deux... Quelques défauts tout de même vous caractérisent (il me semble toutefois que l’on ne puisse pas aborder ce sujet dans cette partie un tantinet solennelle ! ☺), mais qui restent subsidiaires face à votre fort et philanthrope engagement auprès de tous les étudiants que vous encadrez. Plus sérieusement, c’est la dernière fois que vous appuyez sur la touche « suppr » de mon clavier pour effacer tous mes hors sujets produits aux dépends de mon temps de loisirs ! Heureux d’avoir croisé votre chemin à tout juste la majorité et de poursuivre cette aventure universitaire à vos côtés à la quarantaine. En espérant que cette histoire de vie puisse se poursuivre... Je vous souhaite le meilleur pour le futur.

A Madame le Professeur Pascale DUCHE

Je tiens à te remercier pour avoir accepté la co-direction après une réflexion de quelques secondes et pour avoir recadré très tôt mes travaux d’un coup de baguette – en espérant qu’elle soit magique en vue de la soutenance. Merci également pour avoir tenu compte de mes obligations professionnelles qui ne m’ont pas permis d’être un fidèle laborantin !

A Messieurs, le Professeur Denis RACCAH et le Docteur Sébastien RATEL

Je tiens à vous remercier pour votre gentillesse et votre disponibilité, ainsi que pour avoir accepté d'établir les rapports de thèse au regard de votre compétence et votre expertise reconnues dans vos domaines respectifs.

Aux membres du jury

Je tiens à vous remercier très sincèrement pour avoir accepté d'évaluer ce travail de thèse.

A Messieurs Didier RETIERE, Directeur Technique National de la FFR et Julien PISCIONE, Responsable Département Accompagnement à la Performance de la FFR

Je tiens à vous remercier pour avoir initié la réflexion autour de ce travail, en souhaitant que celui-ci permette d'améliorer la stratégie prophylactique et les performances des jeunes joueurs de rugby, au travers de l'amélioration de leur composition corporelle. Avec mes sincères remerciements pour vos nombreux et précieux échanges, votre confiance et votre soutien matériel.

A Monsieur Henri MONDINO, Vice-Président de la FFR et Président de la Ligue Sud de rugby, et le Docteur José GADEA, Président de la Commission Médicale de la Ligue Sud de Rugby

Je tiens à vous remercier pour avoir porté un grand intérêt à mes travaux et avoir permis leur réalisation au sein de la Ligue du SUD de rugby. En espérant que nous puissions poursuivre nos collaborations dans une logique d'amélioration de la santé et de la performance des jeunes joueurs de rugby.

A Monsieur Patrick PEZERY

Je tiens à te remercier pour ta bonne humeur, ta sympathie, ton implication et ta compétence dans le monde de l'ovalie, plus particulièrement pour la formation des jeunes joueurs de rugby, sans oublier ta participation indéfectible et précieuse dans le recueil des nombreuses données au sein des clubs de la région. Sans toi ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

A Messieurs les Docteurs Moez BOUCHOUICHA et Raymond BOU NADER

Je tiens à vous remercier tous les deux pour votre patience et votre pédagogie dans mon apprentissage « pas à pas » (☺) des statistiques et des mathématiques. Merci à Raymond pour ton investissement jusqu'à la dernière minute ! Et tes déplacements en France pendant lesquels tu as toujours pris le temps de venir « physiquement » me coacher. Je souhaite également que ton cher pays puisse vivre des jours meilleurs...

Aux collègues de l'UFR STAPS (Magali, Jean-paul, Marc, Jean-Marc, Arnaud, Emilie, Sylvie, Laure, Martine ...)

Pour leur sympathie et leurs encouragements à l'heure du café, du déjeuner..., ou encore de façon inopinée (n'hésitez pas à l'avenir à taper avant d'entrée !). Mais je vous avoue que ne plus entendre le « ... alors cette thèse, elle n'est pas encore finie », ne va point me manquer !

A l'association SERENA et plus particulièrement à Madame Lilia MATEOS, à Monsieur Patrick CONTOIS et à Monsieur Le Président, Yves Lachèvre

Pour m'avoir laissé la possibilité d'effectuer cette thèse tout en dirigeant l'Hôpital.

A ma mère

Pour m'avoir tout d'abord mis au monde avec toute cette énergie qui m'anime pour engager de tels défis. Et pour m'avoir recueilli un midi complètement découragé et submergé tel un enfant repartant au nid, et remis sur pattes en un après-midi. Et pour prendre également grand soin de nos progénitures.

A mon frère et à ma sœur

Pour juste être ce que vous êtes et composer notre toute petite famille.

A ma Belle famille (Serge et Christine)

Pour votre gentillesse, le temps passé et l'amour que vous portez à vos petits-enfants. Pour votre présence sans faille, et votre contribution afin de nous soutenir dans nos rythmes effrénés.

A mes grands-parents

Qui auraient été très fiers de moi, même si je sais que vous suivez cela de près. N'oubliez pas de prendre soin de mon fidèle ex-compagnon.

**A mes amis (Vincent, Pilou, Bech, Pitou, Thibault, Ben,
Benoît, Tonton Fred, Pierrot, Eric et les autres ...)**

Pour pas grand-chose ! Mais cela évitera les reproches dans l'éventualité où vous viendrez à tomber malencontreusement sur ce manuscrit ! Thanks Pierrot for your precious english help ☺ et à Vincent (au risque de me confronter à ta susceptibilité et possessivité légendaires !).

Et le meilleur pour la fin, à Laetitia, Diego et Lou

Pour m'accompagner dans tous mes délires, et pour votre engagement à ne jamais me laisser tomber ! Merci de m'apporter une vie pleine d'amour et de stabilité ! Merci d'avoir fait le nécessaire au quotidien (et d'avoir sacrifié quelques projets) pour que je puisse produire ce manuscrit. Merci d'avoir accepté de vivre intensément à mes côtés ces dernières années et de vous préparer à ce que ça continue... ☺ Je vous aime (jeudie20112014).

RIP Gérard ...

Table des matières

Remerciements.....	2
Table des matières.....	6
Liste des abréviations.....	10
Liste des tableaux.....	11
Liste des figures	13
Introduction.....	16
PARTIE I : REVUE DE LITTÉRATURE.....	18
I. Surpoids et obésité, définitions et généralités.....	19
A. <i>Définitions</i>	20
B. <i>Classification de l'obésité et épidémiologie</i> :.....	20
1. <i>Classification de l'obésité dans la population générale</i>	20
2. <i>Spécificité dans la classification de l'obésité infantile</i>	22
C. <i>Prévalence de l'obésité</i>	23
1. <i>Chez l'adulte</i>	23
2. <i>Chez l'enfant et l'adolescent</i>	24
3. <i>Prévalence du surpoids chez l'enfant et l'adolescent dans les pratiques sportives</i> :.....	26
a) <i>Rareté et variabilité des données disponibles</i> :	26
b) <i>Biais et fragilités du diagnostic dans les sports de contact</i> :	27
c) <i>Focus de la prévalence de l'obésité au rugby</i> :	28
D. <i>Risque de blessures dans le sport chez l'enfant et l'adolescent en situation d'obésité</i> :	29
1. <i>L'instabilité posturale incriminée</i>	30
2. <i>Epidémiologie des blessures chez le jeune joueur de rugby</i>	30
E. <i>Les risques prédictifs d'une obésité précoce à l'âge adulte</i>	33
II. La puberté.....	37
A. <i>Généralités</i>	38
1. <i>Les différents stades</i>	39
2. <i>La classification de Tanner et nouvelle modélisation</i>	40
B. <i>La variabilité pubertaire</i>	42
1. <i>Vitesses de croissance corporelle différenciées</i>	44
2. <i>La variabilité de la maturation chez les jeunes joueurs de rugby et les conséquences anthropométriques et physiques</i>	45
III. Le diagnostic de la surcharge pondérale.....	49
A. <i>Le tissu blanc</i>	51
1. <i>Sur le plan histologique</i>	51
2. <i>Ses fonctions et localisations</i>	51
3. <i>Le développement du tissu gras pendant l'enfance et la puberté</i>	52
B. <i>L'estimation de l'adiposité</i>	54
1. <i>L'IMC</i>	55
2. <i>Le pourcentage de masse grasse</i>	59
3. <i>La masse grasse et maigre normalisées à la taille</i>	62
a) <i>L'indice de masse grasse comme indicateur diagnostique de l'obésité</i>	68
b) <i>Le modèle Hattori</i>	70

C.	<i>Morphotypes</i>	73
1.	<i>Somatotype de Carter et Heath (1990)</i>	73
2.	<i>Morphotype depuis le modèle Hattori</i>	75
3.	<i>Combinaison IMG/IMM et co-morbidités</i>	77
IV.	<i>Les caractéristiques anthropométriques des jeunes joueurs de rugby</i>	80
A.	<i>Masse corporelle et taille</i>	81
B.	<i>Indice de masse corporelle</i>	83
C.	<i>Adiposité et masse grasse chez le jeune joueur de rugby</i>	83
D.	<i>Les somatotypes</i>	85
E.	<i>L'héritage génétique</i>	85
V.	<i>Les différents modèles de classification des jeunes joueurs</i>	88
A.	<i>La catégorisation par l'âge chronologique</i>	89
1.	<i>La classification par âge chronologique de la Fédération Française de Rugby (F.F.R)</i>	89
2.	<i>Les classifications à l'international</i>	91
B.	<i>Les sur et sous-classements</i>	91
1.	<i>En France</i>	91
2.	<i>Quel sont les usages à l'international, quelques exemples</i>	92
a)	<i>L'Australie</i>	92
b)	<i>La Nouvelle-zélande</i>	94
c)	<i>L'Angleterre</i>	96
C.	<i>La considération d'autres facteurs dans le système de classification</i>	98
1.	<i>La taille et le poids</i>	98
2.	<i>La masse corporelle : l'éclairage de la fédération internationale, World Rugby</i>	99
3.	<i>De la maturité biologique vers des modèles bio-psycho-sociales.</i>	100
4.	<i>Vers une approche plus holistique</i>	103
PARTIE II : CONTRIBUTION PERSONNELLE		105
I.	<i>Objectifs et hypothèses</i>	106
II.	<i>Matériels et méthodes</i>	111
A.	<i>Population</i>	112
B.	<i>Détermination de la corpulence (études 1, 2, 3, 4)</i>	112
C.	<i>Détermination de la composition corporelle (études 1, 2, 3, 4)</i>	112
D.	<i>Estimation du surpoids (études 1, 2, 3, 4)</i>	113
E.	<i>Estimation d'un excès de masse grasse (études 1, 2)</i>	113
F.	<i>Classification par l'âge (études 1, 2, 3, 4)</i>	113
G.	<i>Classification par la masse corporelle (étude 3)</i>	114
H.	<i>Représentation graphique de la composition corporelle (études 1, 3)</i>	115
I.	<i>Identification des morphotypes (études 3, 4)</i>	115
J.	<i>Comparaison des indices corporels entre les deux modalités de catégorisation (étude 3)</i>	116
K.	<i>Sous et surclassement (étude 3)</i>	116
L.	<i>Contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence (étude 2)</i>	117
M.	<i>Autres mesures anthropométriques (étude 4)</i>	117
N.	<i>Temps de pratique sportive (études 1, 2, 3, 4)</i>	119

O.	<i>Statistiques (études 1, 2, 3, 4)</i>	119
III.	Résultats	121
A.	<i>Détermination de la prévalence de la surcharge pondérale du jeune joueur de rugby à XV</i>	122
1.	<i>Introduction</i>	123
2.	<i>Méthodologie</i>	124
a)	Population étudiée	124
b)	Méthode	125
c)	L'analyse statistique.....	125
3.	<i>Résultats</i>	125
a)	Prévalence du surpoids/obésité à partir de l'IMC (critères IOTF)	125
b)	Prévalence du surpoids/obésité à partir du 75 ^{ème} percentile	126
c)	Evolution des indices de masse corporelle et composition corporelle entre les catégories d'âge chez les joueurs de poids normal et en surcharge pondérale (surpoids et obésité).....	127
d)	Différences de composition corporelle selon le niveau de corpulence	129
e)	Corrélation entre les indices corporels et le pourcentage de masse grasse en fonction des catégories d'âge et de la corpulence.....	129
f)	Relation entre l'IMG et l'IMM selon les catégories d'âge et la corpulence (figure 37).....	130
4.	<i>Discussion-conclusion</i>	132
B.	<i>Focus la sur-estimation de la prévalence de la surcharge pondérale du jeune joueur de rugby à XV</i>	133
1.	<i>Introduction</i>	134
2.	<i>Méthodologie</i>	134
a)	Population étudiée	134
b)	Méthode	135
c)	L'analyse statistique.....	136
3.	<i>Résultats</i>	136
a)	Prévalence du surpoids/obésité à partir de l'IMC (critères IOTF)	136
b)	Caractéristiques de l'excès de corpulence.....	136
c)	Performance de l'IMC comme diagnostic du surpoids (75 ^{ème} percentile en référence).....	137
d)	Proportion des joueurs selon les caractéristiques de l'excès de corpulence en fonction de l'âge	138
4.	<i>Discussion</i>	139
C.	<i>Suggestion d'un modèle alternatif pour regrouper les jeunes joueurs de rugby à XV par rapport à leur composition corporelle</i>	141
1.	<i>Introduction</i>	142
2.	<i>Méthodologie</i>	144
a)	Population étudiée	144
b)	Méthode	144
c)	L'analyse statistique.....	145
3.	<i>Résultats</i>	146
a)	Comparaison entre les deux modèles de classification (âge versus la masse corporelle)	146
b)	Sous ou surclassement des joueurs après classement par le poids	149
c)	Différents morphotypes à partir du modèle graphique d'Hattori après classification par la masse corporelle 154	
4.	<i>Discussion</i>	155
D.	<i>Prédiction d'indices corporels et de morphotypes extrêmes à partir de caractéristiques anthropométriques</i>	157
1.	<i>Introduction</i>	158
2.	<i>Méthodologie</i>	159
a)	Population étudiée	159
b)	Méthode	159
c)	L'analyse statistique.....	160
3.	<i>Résultats</i>	161
a)	Equation anthropométrique prédictive de l'indice de masse grasse	161
b)	Equation anthropométrique prédictive de l'indice de masse maigre	162
c)	Modèle prédictif du morphotype (combinaison IMM/IMG).....	163
d)	Morphotype extrême : équation anthropométrique prédictive du Z-score d'IMM/IMG	164

4. Discussion.....	168
IV. Discussion générale et synthèse	170
A. Prévalence du surpoids et l'obésité chez le jeune joueur de rugby	171
B. Evolution de la composition corporelle chez le jeune joueur de rugby de poids normal et en surcharge pondérale entre 9 et 14 ans.	172
C. Une corpulence élevée est-elle liée uniquement à un excès de masse grasse ?	174
D. Surestimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité.....	176
E. La problématique de l'excès de masse grasse : prévention, stratégie d'intervention... ?	177
F. Le modèle de la catégorisation par « le poids », un vaste débat !.....	178
G. Choix du modèle statistique pour établir la catégorisation par « le poids ».....	181
H. Avantages de la catégorisation par le poids.....	183
I. Limites de la catégorisation par le poids.....	183
J. Intérêt de la prise en compte de la composition corporelle dans le modèle de catégorisation par le poids.....	185
K. Prédiction des indices de composition corporelle à partir des mesures des circonférences.	186
L. Considérations méthodologiques.....	189
M. Applications pratiques	189
V. Conclusions	191
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	197
ANNEXES	240
ANNEXE 1 : Etude 1.....	241
ANNEXE 2 : Etude 2.....	251
ANNEXE 3 : Etude 3.....	262

Liste des abréviations

ADN : Acide Désoxiribonucléique	HR : Hazard Ratio
AS : Adipo-solid	HWR : Ration de la taille/la masse corporelle ³
ASI : Adipo-slender	IGF-1 : Insulin-like Growth Factor-1
ATP : Adésonie Triphosphate	IGFBP : Insulin-Like Growth Factor-binding Protein
BFMI : Body Fat Mass Index	IL-6 : Interleukine 6
CAG : Circonférence du bras	IMG : Indice de Masse Grasse
CCG : Circonférence des mollets	IMM : Indice de Masse Maigre
CDC : Centers for disease Control and Prevention	IRM : Imagerie à Résonance Magnétique
CRP : Protéine C-réactive	LBMI : Lean-Body-Mass Index
DEXA : Dual energy X-ray absorptiometry	LS : lean-solid
DTN : Directeur Technique National	LSI : Lean-slender
FB : Largeur du fémur	MC4R : Melanocortin 4 receptor
FFM : Fat-free mass	MG : Masse grasse
FGF-21 : Fibroblast growth factor-21	NZRU : Fédération de rugby de Nouvelle-zélande
FM : Fat mass	OMS : Organisation Mondiale de la Santé
FMI : Fat-Mass Index	PAI-1 : Plasminogen activator inhibitor-1
FFMI : Fat Free Mass Index	PHV : Peak Height Velocity
FFR : Fédération Française de Rugby	TMI : Tri-ponderal Mass Index
IMC : Indice de Masse Corporelle	TNF-α : Tumor Necrosis Factor α
IOTF : International Obesity Task Force	Uage : Under age
GH : Growth-Hormon	UCP1 : Uncoupling Protein 1
HB : Largeur de l'humérus	Wx-y : Weight x-y

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de l'obésité associée au risque de maladies.	21
Tableau 2 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'adulte en France	24
Tableau 3 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'enfant et l'adolescent (de 2 à 19 ans) en France.	25
Tableau 4 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'enfant et l'adolescent dans le sport.	28
Tableau 5 : Incidence des blessures au rugby en fonction de l'âge.	32
Tableau 6 : Incidence des blessures au rugby en fonction des phases de jeu chez le jeune.	33
Tableau 7 : Valeurs des seuils de pourcentage de masse grasse chez le jeune coréen selon le sexe et l'âge basées sur les seuils d'IMC (IOTF) du surpoids et de l'obésité.	62
Tableau 8 : Valeurs médianes d'IMG et d'IMM disponibles chez l'enfant et le jeune adulte.	65
Tableau 9 : Classification des morphotypes, chez l'enfant à partir des combinaisons IMG/IMM, adaptée de Schutz et al, 2002 et Nakao et al. 2003.	77
Tableau 10 : Illustration des valeurs de masse grasse et de masse maigre chez des juniors (16-18 ans) de rugby à 15 en fonction des postes de jeu.	84
Tableau 11 : Classification par âge des joueurs de rugby à XV en France.	90
Tableau 12 : Seuils de taille et des masses corporelles par catégorie d'âge.	94
Tableau 13 : Catégorisation par âge et possibilité de sous et surclassement.	95
Tableau 14 : Catégories d'âge avec des valeurs limites de masse corporelle : A, Canterbury rugby union (World rugby, 2016) versus Catégories de masse corporelle : B, Auckland rugby, 2021.	96
Tableau 15 : Possibilités de sous et surclassement (RFU, Regulation 15, Age grade rugby, 2021)	97
Tableau 16 : Caractéristiques des catégories Uage.	114
Tableau 17 : Caractéristiques des catégories Wx-y.	114
Tableau 18 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez le jeune joueur de rugby dans différentes catégories d'âge.	126
Tableau 19 : Pourcentage des jeunes joueurs de rugby de poids normal, en surpoids, obèses (critères IOTF) ayant un excès d'adiposité à partir de l'IMG et % MG (> 75ème percentile).	126
Tableau 20 : Corrélation entre l'IMC et l'IMG, l'IMM et le % MG chez le jeune joueur de rugby.	130
Tableau 21 : Prévalence du surpoids et contribution des tissus maigre et gras par catégorie d'âge chez le jeune joueur de rugby.	138
Tableau 22 : Comparaison des caractéristiques anthropométriques des jeunes joueurs de rugby classés par l'âge vs par la masse corporelle.	148

Tableau 23 : Distribution des joueurs classés par l'âge au sein de chacune des catégories de masse corporelle.	149
Tableau 24 : IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés pour l'indice de masse grasse et les variables âge et circonférences (Abdomen, bras, épaules, taille, cuisse, cheville).	162
Tableau 25 : IMM : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés pour l'indice de masse maigre et les variables des circonférences (Bras, cuisse, avant-bras, abdomen, taille).	163
Tableau 26 : Morphotype « Inter-Inter » - Z-score IMM/IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés.	165
Tableau 27 : Morphotype « Adipo-solid » - Z-score IMM/IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés.	166
Tableau 28 : Morphotype « Lean-Slender » - Z-score IMM/IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés.	167

Liste des figures

Figure 1. Courbes de corpulence garçon de 0 à 18 ans (PNNS).	23
Figure 2. Prévalence de l'obésité (>IOTF 30) chez le garçon (2-19 ans) à travers le monde.	24
Figure 3. Probabilité d'être en surpoids à 35 ans à partir d'un IMC>95 percentile au cours de l'enfance.	34
Figure 4. Modélisation de l'évolution de la vitesse de croissance chez l'enfant.	39
Figure 5. Modélisation du pattern des caractères de maturation observables au cours de la phase pubertaire (à partir de contenus graphiques réalisés par Sizonenko PC. et téléchargés par Kostovski Z., pouvant être soumis au droit d'auteur).	41
Figure 6. Tendances de l'évolution théorique de la maturation et de ses critères (timing, tempo et amplitude) chez le garçon de maturité précoce vs tardive.	43
Figure 7. Timing des pics de vitesse de la taille debout, assise et de la longueur de la jambe chez le garçon.	45
Figure 8. Timing et pics de vitesse, de performance (Eurofit), de masse corporelle et de croissance.	46
Figure 9. Modélisation du pattern d'évolution du tissu adipeux en valeur absolue (kg) au cours de la croissance chez le garçon (cercle plein – trait bleu) et la fille (cercle vide – trait rose) d'après Veldhuis et al., 2005.	53
Figure 10. Modélisation du pattern d'évolution du tissu adipeux en valeur relative au cours de la croissance chez le garçon (trait bleu) et la fille (trait rose).	54
Figure 11. Changements annuels des contributions du tissu adipeux (masse grasse/taille ²) et du tissu maigre (masse maigre/taille ²) dans l'IMC chez le garçon (A) et la fille (B).	58
Figure 12. Variabilité du pourcentage de masse grasse et de l'IMC depuis le modèle graphique d'Hattori chez l'enfant.	60
Figure 13. Comparaison des valeurs de composition corporelle exprimées en % et en kg de masse corporelle vs en kg.m ² de deux jeunes sujets de statuts nutritionnels différents.	63
Figure 14. Evolutions des indices de masse corporelle (IMC), de masse grasse (IMG), et de masse maigre (IMM) au cours de la croissance.	64
Figure 15. Courbes d'IMG et d'IMM chez le garçon (bleu) et la fille (rose) entre 3 et 20 ans.	66
Figure 16. Pattern d'IMG chez le garçon Américain en fonction de son origine ethnique.	67
Figure 17. Modélisation de l'évolution d'IMG et d'IMM chez le garçon (bleu) et la fille (rose) de 3 à 20 ans.	68
Figure 18. Corrélations entre la taille et les indices de masse corporelle (IMC), de masse grasse (IMG) et de masse grasse au cube (IMG ³ , p=3) chez le garçon et la fille.	69

Figure 19. Présentation graphique de la composition corporelle d'une population adulte mixte à partir du modèle graphique Hattori revisité, incluant les indices de masse grasse (IMG), de masse maigre (IMM), de masse corporelle (IMC) et de % MG.	71
Figure 20. Classification d'IMG et d'IMM en 3 sous groupes d'une jeune population de garçon depuis le modèle Hattori.	72
Figure 21. Illustration de la variabilité des indices de masse grasse (IMG), de masse maigre (IMM) et de pourcentage de masse grasse (% MG) pour un même indice de masse corporelle (IMC) et des hypothétiques atypicités morphologiques chez les 8-12 ans à partir de l'étude de Wells (2000).	73
Figure 22. Somatotypes (A) selon la classification décrit par Sheldon et al., 1940 et le somato-graphique (B) par Carter et Heath, 1990.	75
Figure 23. Modélisation de l'identification des morphotypes à partir du modèle Hattori.	76
Figure 24. Comparaison des données de taille (droite) et de masse corporelle (gauche) entre jeunes joueurs de rugby et la population de référence.	82
Figure 25. Valeurs moyennes de la taille et de la masse corporelle en fonction de l'âge des jeunes joueurs de rugby (A) et projection des IMC (B) sur les courbes de corpulence IOTF (à partir des données recueillies par Patton et al., 2016).	83
Figure 26. Somatotype des joueurs de rugby.	85
Figure 27. Procédure de sous ou surclassement des jeunes joueurs de la fédération de rugby Australienne (Age grade dispensation flowchart, Rugby Australia, 2020).	93
Figure 28. Progression des jeunes joueurs attendue en termes de compétences au fil de l'âge (Age grade, England Rugby, 2019/2020).	98
Figure 29. Les différentes applications du bio-banding.	101
Figure 30. Modélisation des « fenêtres d'apprentissage » selon le concept de bio-banding.	102
Figure 31. Maturation et adhésion à une activité physique : modèle « bio-culturel » de Cumming et al. (2011).	102
Figure 32. Modèle graphique revisité d'Hattori.	115
Figure 33. Identification des morphotypes « extrêmes » par subdivision simultanée d'IMG et IMM.	116
Figure 34. Les différentes mesures des circonférences (à partir des illustrations modifiées de Heyward et Wagner, 2003).	118
Figure 35. Les différentes mesures des plis cutanés (à partir des illustrations modifiées de Heyward et Wagner, 2003).	119
Figure 36. Indices corporelles (IMC, IMG, IMM) entre les catégories d'âge et selon leur niveau de corpulence chez le jeune joueur de rugby.	128
Figure 37. Niveau d'IMG versus IMM à partir des 25 et 75ème percentiles d'une distribution des jeunes joueurs de rugby par catégorie d'âge.	131
Figure 38. Proportion des joueurs en surpoids et obèses selon les caractéristiques de l'excès de corpulence.	139

Figure 39. (A-C). Changement de catégorie de la classification par l'âge après classification par la masse corporelle exprimé en pourcentage dépendant du niveau de corpulence (poids normal, surpoids, obèse). 151

Figure 40. (A-C). Diagramme de dispersion d'IMM/IMG (cercle bleu et croix noire pour la classification par l'âge et par la masse corporelle respectivement). Ellipses bivariées normales (IC : 95 % ; bleue et noire pour la classification par l'âge et par la masse corporelle). 153

Figure 41. Distribution des jeunes joueurs (W30-44,9) de rugby en fonction des différents morphotypes à partir du modèle graphique d'Hattori. 155

Figure 42. Comparaison de la distribution des valeurs d'IMM et d'IMG estimées à partir des plis cutanés (bleu) versus celle des valeurs prédites à partir des mesures de circonférences (orange) chez les jeunes joueurs de rugby. 164

Introduction

Dans les sports de contact tels que le rugby, pour lesquels la force et la puissance sont prépondérantes, les athlètes tendent à avoir une masse corporelle élevée. Le désir des clubs, la volonté des entraîneurs à recruter des morphotypes de forte corpulence peuvent conduire le jeune joueur de rugby à s'orienter vers un modèle de masse corporelle élevée. Sans oublier l'intégration et l'identification culturelles facilitées des enfants et adolescents de forte corpulence à la pratique du rugby. La prise de poids, si elle n'est pas contrôlée et excessive, peut devenir un risque pour la santé du jeune joueur relatif aux complications et comorbidités d'un excès de masse grasse.

Par ailleurs, l'hétérogénéité de la masse corporelle entre les jeunes joueurs au sein d'une même catégorie a conduit certaines fédérations de rugby à modifier leurs règles d'organisation, en permettant à un enfant de faible poids de changer de catégorie d'âge pour des raisons de sécurité. Effectivement, la grande variabilité de la maturation et des réponses biologiques associées au sein d'une même classe d'âge induisent des différences notoires de composition corporelle.

Mon travail de thèse s'inscrit dans ce contexte et s'est intéressé premièrement à établir des valeurs de référence en termes de surpoids et d'obésité chez le jeune joueur de rugby de 9 à 14 ans, classe d'âge charnière sur le plan biologique. L'étude d'un modèle anthropométrique descriptif capable de préciser et de comparer les particularités, et les atypicités corporelles entre joueurs a été entreprise. Enfin, cela nous a conduit à analyser la pertinence d'une méthode de classification des jeunes joueurs à partir de données anthropométriques, afin de lutter contre les disparités corporelles et les risques de blessures induites. Ces travaux sur la précision des indicateurs anthropométriques diagnostiques permettraient *in fine* de cibler les interventions et d'adapter les séances d'entraînement en fonction du profil de composition corporelle du jeune joueur de rugby.

PARTIE I : REVUE DE
LITTÉRATURE

I. Surpoids et obésité, définitions et généralités

A. Définitions

L'obésité est un problème de santé publique étendu dans toute la planète. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit le surpoids et l'obésité comme « une accumulation anormale ou excessive de graisse qui présente un risque pour la santé ». Selon l'INSERM, l'obésité correspond à « un excès de masse grasse et à une modification du tissu adipeux, entraînant des inconvénients pour la santé et pouvant réduire l'espérance de vie. Ses causes sont complexes. Elle résulte de l'intrication de plusieurs facteurs – alimentaires, génétiques, épigénétiques et environnementaux – impliqués dans le développement et la progression de cette maladie chronique ». L'épigénétique faisant le lien entre l'environnement et la génétique, c'est à dire des modifications chimiques de l'ADN et par conséquent de l'expression des gènes qui viendraient s'opérer sous l'influence de facteurs internes et environnementaux. L'obésité est donc le résultat de relations complexes entre la génétique, l'environnement socio-économique et d'influences culturelles. La préoccupation d'identifier un excès de masse grasse à tous les âges s'inscrit ainsi dans une logique prophylactique, afin de lutter contre toutes ses conséquences somatiques, psychiques et comportementales, qui *in fine* déclenchent et font évoluer des processus pathologiques. Certaines obésités, les plus fréquentes sont dites communes ou encore idiopathiques relevant de causes multiples héréditaires et environnementales (sédentarité, précarité sociale, malbouffe...). Et d'autres plus confidentielles sont dites secondaires d'origines endocrinienne (hypothyroïdie, hypercorticisme, déficit en GH...), monogénique (anomalie du MC4R, mutation sur le gène de la leptine, ...), syndromique (Prader-Willi...), hypothalamique ou iatrogénique (thymorégulateur, corticothérapie, neuroleptique...). Plus concrètement, ce qui amène à se préoccuper de cette maladie sont ses répercussions multiples bio-psycho-socio-pathologiques néfastes sur la santé.

B. Classification de l'obésité et épidémiologie :

1. Classification de l'obésité dans la population générale

De par la définition de l'obésité, il est simple de penser que le diagnostic de cette dernière implique une bonne évaluation ou estimation de la masse grasse. Cependant, la mesure précise de cette dernière nécessitant du matériel sophistiqué et des méthodes chronophages ne peut se

réaliser dans un contexte d'évaluation de masse. Historiquement, l'Indice de Masse Corporelle (IMC) ou indice de Quetelet a été retenu pour estimer la corpulence d'une part en raison de sa simplicité de mesure et de calcul ($IMC (kg.m^{-2}) = \text{poids (kg)} / \text{taille}^2 (m)$), et d'autre part en raison de son « bon » niveau de corrélation avec la masse grasse totale dans la population générale (Norgan et al., 1982). La finalité de l'IMC est d'évaluer la corpulence en mesurant les proportions de la masse corporelle indépendamment de la taille. Même si celui-ci ne permet pas d'estimer la quantité de masse grasse, de masse maigre et leur répartition, l'ensemble des études épidémiologiques dans l'ensemble des pays du monde utilise cet indice. Nonobstant, même si dans une approche médicale plus contemporaine (début des années 2000), les complications physiopathologiques et co-morbidités de l'obésité se sont étroitement associées à la quantité, aux fonctions biologiques et à la distribution anatomique du tissu adipeux, la grande majorité des études épidémiologiques descriptives de la population générale étudient encore à ce jour sa prévalence à partir de la classification de l'OMS basée sur la relation entre l'IMC et le taux de mortalité (tableau 1).

Il a été ainsi admis par consensus que le risque de mortalité est accru chez des personnes à partir de la valeur seuil d'IMC de $25 kg.m^{-2}$, est élevé au-dessus de $30 kg.m^{-2}$, est très élevé au-dessus de $35 kg.m^{-2}$ et est extrêmement élevé au-dessus de $40 kg.m^{-2}$.

Tableau 1 : Classification de l'obésité associée au risque de maladies (d'après l'OMS).

Classification de l'OMS	IMC en $kg.m^{-2}$	Risque de maladies
Valeur de référence	Entre 18.5 et 25	Faible
Surpoids	Entre 25 et 30	Accru
Obésité modérée	Entre 30 et 35	Elevé
Obésité sévère	Entre 35 et 40	Très élevé
Obésité massive	> 40	Extrêmement élevé

2. Spécificité dans la classification de l'obésité infantile

La corpulence variant naturellement au cours de la croissance, l'interprétation du caractère normal ou non de la corpulence se fait en tenant compte de l'âge et du sexe de l'enfant ou de l'adolescent.

Des courbes de corpulence (figure 1) sont alors indispensables pour interpréter la relation entre l'IMC et le taux de mortalité/morbidité. Elles reflètent l'évolution de l'adiposité au cours de la croissance. Le statut des enfants vis-à-vis des seuils de surpoids et d'obésité se détermine en reportant la valeur de l'IMC sur la courbe de corpulence de référence selon le sexe. En France, les courbes de corpulence sont construites à partir de données de références françaises et complétées par des données internationales. Les données françaises issues d'une étude séquentielle française de la croissance par Rolland-Cachera et al. (1991) ont permis d'établir une distribution de la population en 7 rangs de centile. Les données internationales construites à partir de l'étude International Obesity Task Force (IOTF ; Cole et al., 2000) réalisée dans 6 pays (Brésil, Grande Bretagne, Hong Kong, Pays-bas, Singapour et Etat-unis), ont permis de définir 2 courbes « seuil » associant l'IMC au taux de mortalité :

- IOTF-25 : courbe atteignant le seuil de 25 kg.m⁻² à l'âge de 18 ans
- IOTF-30 : courbe atteignant le seuil de 30 kg.m⁻² à l'âge de 18 ans

Dans la mesure où l'IOTF-25 est quasiment confondu avec le 97^{ème} percentile de la distribution de la population française et dans d'un souci de cohérence de terminologie et de continuum diagnostique entre l'enfance et l'adulte, il a été établi qu'au-dessus de l'IOTF-25, l'enfant (à partir de 2 ans) ou l'adolescent est considéré en surpoids. Au-dessus de l'IOTF-30, il sera alors considéré comme obèse.

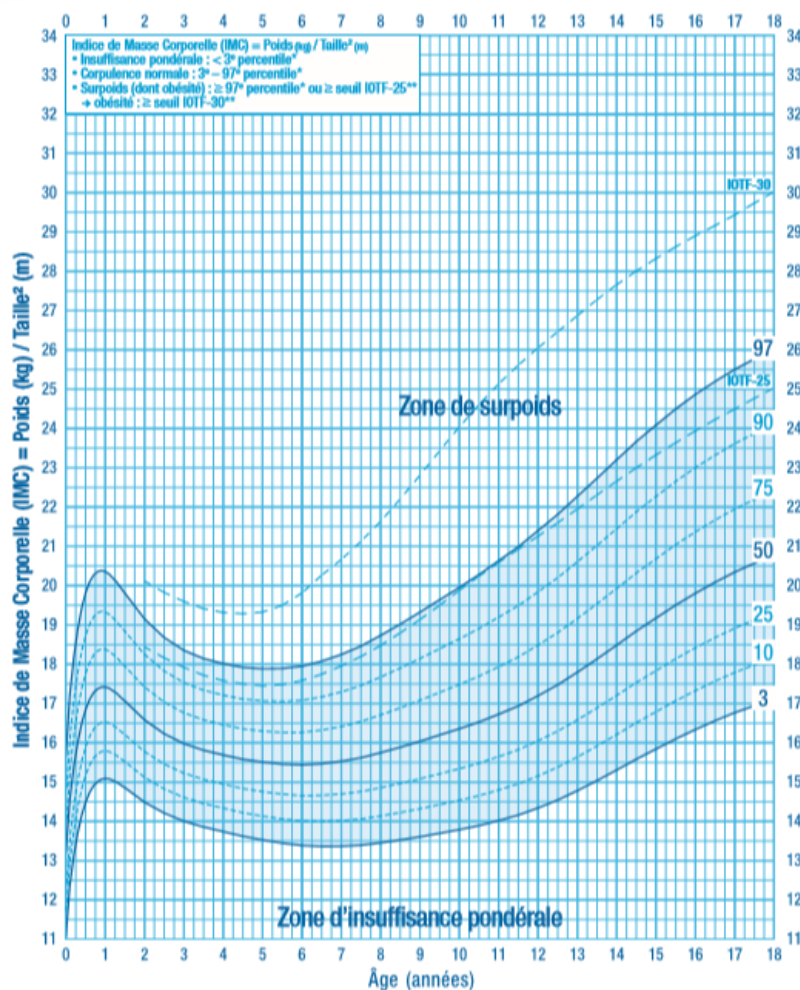


Figure 1. Courbes de corpulence garçon de 0 à 18 ans (PNNS).

C. Prévalence de l'obésité

1. Chez l'adulte

A l'échelle internationale, la dernière étude de référence retenue par sa haute qualité scientifique, afin d'illustrer la prévalence de l'obésité est celle de Ng et al. (2014), composante d'une des grandes études épidémiologiques observationnelles, la « Global Burden of Disease (GBD) » basée sur une revue systématique analysant l'ensemble des articles publiés entre 1980 et 2012. Il apparaît en premier lieu que la prévalence est assez disparate entre les pays. Il est recensé dans le monde en 1980, 921 millions de personnes (enfants de plus de 2 ans, adolescents et adultes) en surpoids ($IMC > 25 \text{ kg.m}^{-2}$) et obèses ($IMC > 30 \text{ kg.m}^{-2}$) *versus* 2,1

milliards en 2013, ainsi qu'une augmentation de la prévalence du surpoids/obésité ($IMC > 25 \text{ kg.m}^2$) chez l'adulte sur cette période de 27,5 %.

Globalement en 2013, la prévalence mondiale du surpoids/obésité chez l'adulte était de 36,9 % chez l'homme et de 38,0 % chez la femme.

Cette même étude présente également la prévalence du surpoids/obésité chez l'adulte en France, qui apparaît sensiblement supérieure à celle établie à l'échelle planétaire (tableau 2).

Tableau 2 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'adulte en France (d'après la GBD, 2014).

Hommes > 20 ans		Femmes > 20 ans	
Surpoids	Obésité	Surpoids	Obésité
55.9 %	19.3 %	42.8 %	19.7 %

2. Chez l'enfant et l'adolescent

Cette même étude a recensé dans le monde, à partir des critères de l'IOTF chez les jeunes de 2 à 19 ans, une augmentation de la prévalence du surpoids/obésité ($> IOTF-25$) de 47,1 % entre 1980 et 2013. En 2013, la prévalence mondiale du surpoids/obésité était de 23,8 % chez le garçon et de 22,6 % chez la fille. Cette prévalence reste néanmoins très disparate entre les pays (figure 2).

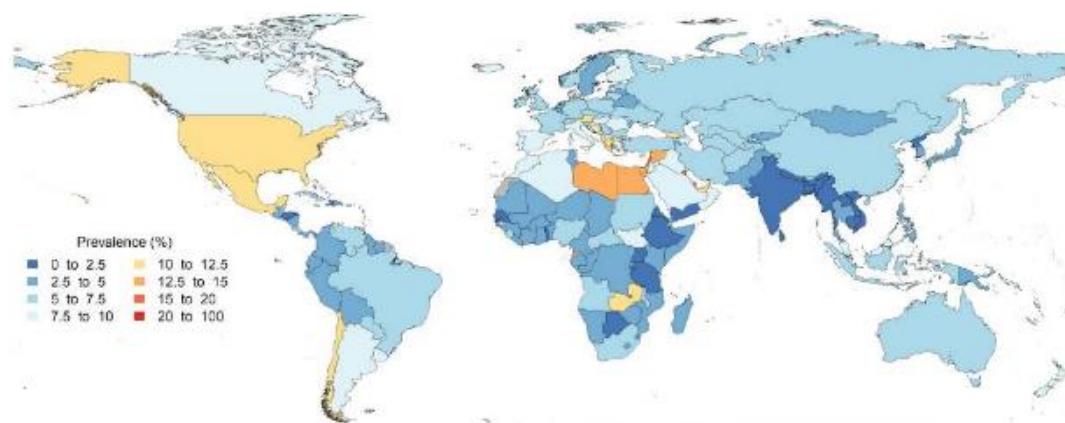


Figure 1. Prévalence de l'obésité ($>IOTF 30$) chez le garçon (2-19 ans) à travers le monde (d'après l'étude GBD, 2013).

De nombreuses études convergent vers une tendance à la stabilisation de la prévalence du surpoids (dont l'obésité) infantile dans certains pays (Olds et al, 2010 ; Blüher et al, 2011) au cours de la dernière décennie. Même si cette stabilisation pourrait paraître encourageante, la plupart des auteurs appellent à la vigilance. En effet, celle-ci concerne d'une part des valeurs élevées (la prévalence de l'obésité infantile supérieure à celle de chez l'adulte dans certains pays), et d'autre part, il a pu être relevé une augmentation de la prévalence des formes graves d'obésité à l'adolescence. Cette même étude présente également la situation de la prévalence du surpoids/obésité chez l'enfant et l'adolescent (de 2 à 19 ans) en France qui apparaît contrairement à chez l'adulte, inférieure à la moyenne établie à l'échelle planétaire (tableau 3).

Tableau 3 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'enfant et l'adolescent (de 2 à 19 ans) en France (d'après la GBD, 2014).

Hommes < 20 ans		Femmes < 20 ans	
Surpoids	Obésité	Surpoids	Obésité
19.9 %	5.8 %	16.0 %	4.7 %

Cette étude vient corroborer la plupart des données issues d'études récentes réalisées en France telles que l'Etude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité Physique et la Nutrition (ESTEBAN 2014-2016) annonçant chez les enfants de 6 à 17 ans (les deux sexes confondus) une prévalence du surpoids de 17 %, et de l'obésité de 4 %. Les études réalisées par la Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques (DREES), révèlent que 12 % des enfants de grande section de maternelle (entre 5 et 6 ans) étaient en surpoids, 3,5 % étaient obèses, pour atteindre près de 18 % de surpoids et 4 % d'obésité en CM2 (entre 10 et 11 ans). Ces mêmes études viennent mettre en évidence que le niveau social est inversement corrélé à la prévalence du surpoids et de l'obésité. Effectivement, les enquêtes de la DREES rapportent une prévalence du surpoids/obésité de 16 % en grande section de maternelle et de 22 % en CM2 chez la classe ouvrière *versus* respectivement 7 % et 13 % chez la classe cadre.

Il est important de mettre en exergue quelques biais connus et communs à de nombreuses études épidémiologiques, cités dans la littérature :

- Les limites de l'IMC dans les études populationnelles en raison :
 - De sa faible sensibilité, entre 25 et 50 % d'obèses ne seraient pas identifiés appelés « faux-négatifs ».
 - De seuils (cut-offs) inadaptés, qui seraient à distinguer en fonction du sexe et de l'âge (Shah et al., 2012 ; Vasconcelos et al., 2010)
- Les limites méthodologiques en raison :
 - De mesures indirectes et auto-déclarées de poids et de taille qui seraient mésestimées (sous-estimation du poids et surestimation de la taille) et qui viendraient sous-estimer l'IMC (Laurent, et al., 2020 ; Gorber et al., 2007).
 - De la définition et de la classification du surpoids et de l'obésité assez disparates entre les études, et de ce fait difficilement comparables.
 - Des effets de l'âge et du genre sur les co-morbidités de l'obésité parfois non isolés.

Il est nécessaire par ailleurs d'évoquer le biais de l'actualisation des valeurs de référence, sous les tendances séculaires à l'évolution avec le temps des traits anthropométriques de toutes les populations. La cosmopolitisation et le métissage des populations dans de nombreux pays induisent de même des contrastes et des évolutions anthropométriques non négligeables. Le melting-pot américain illustre bien ce brassage ethnique et la nécessité en épidémiologie de catégoriser leur population (hispaniques, afro-américains...).

3. Prévalence du surpoids chez l'enfant et l'adolescent dans les pratiques sportives :

a) Rareté et variabilité des données disponibles :

Même si la prévalence du surpoids est relativement bien étudiée chez l'enfant et l'adolescent, peu de données sont disponibles dans les pratiques sportives. Au-delà de la pauvreté des données, celles-ci semblent être issues d'études dont les critères d'inclusion sont très disparates : niveau de pratique (loisir, compétition), durée de pratique, classe d'âge ou encore de la considération d'autres formes d'activités physiques complémentaires. On observe de

même que la majorité des études sont établies à partir de petits échantillons, et essentiellement à partir d'une population de genre masculin.

Dans ces données, une grande variabilité de la prévalence du surpoids est observée en fonction des pratiques sportives, du cadre institutionnel dans lequel le sport est pratiqué (école, club, ...) et selon également les critères retenus pour définir le surpoids et l'obésité (IOTF : études européennes ; Centers for Disease Control, CDC, 2000 : études américaines). Pour les critères CDC, les seuils sont définis pour le surpoids à un $IMC \geq 85^{\text{ème}}$ et $< 95^{\text{ème}}$ percentile, et pour l'obésité, à un $IMC \geq 95^{\text{ème}}$ percentile. Malgré les différences observées selon les critères de référence, Malina et al. (2007) observent néanmoins dans une population de jeunes joueurs de football américain que les différences de prévalence obtenues en fonction des critères IOTF ou CDC viennent à se réduire nettement, lorsque la prévalence du surpoids est compilée à celle de l'obésité. Cela s'expliquant par le fait que les critères CDC ont tendance à sous-estimer la prévalence du surpoids et sur-estimer inversement celle de l'obésité comparativement aux critères IOTF. Pour illustration, ces auteurs estiment que les prévalences du surpoids (dont l'obésité) sont quasiment similaires pour les critères IOTF (45 %) et CDC (40 %). Cependant, une grande étendue de la prévalence du surpoids (de 3,7 à 24,7 %) et de celle de l'obésité (de 0,7 à 25,1 %) est observée dans une classe d'âge de 8,7 ans à 15,2 ans (tableau 4).

b) Biais et fragilités du diagnostic dans les sports de contact :

Malina et al. (2007) soulèvent également les limites de l'IMC dans l'estimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité au cours de la période d'adolescence, eu égard au développement accéléré du tissu maigre au moment du pic de croissance. Effectivement, l'incapacité de l'IMC à faire la distinction entre le tissu maigre et gras peut amener à considérer un adolescent de maturation précoce comme obèse. Ce point relatif à la maturation est important à souligner d'autant qu'il participe à biaiser grandement l'estimation de la prévalence de l'obésité dans certains sports. Effectivement, lorsque le processus de sélection des jeunes joueurs se base sur des critères tels que la taille ou le poids, ce qui est plutôt « plébiscité » dans les sports de contact, il est aisé de penser que les adolescents bénéficiant d'une maturité précoce seront principalement avantagés, et donc représentés (Malina et al., 2005). Cela est d'autant plus vrai, dans des sports tels que le rugby, pour lequel les efforts physiques orientés vers la puissance, la force et l'explosivité favorisent le développement de la masse musculaire.

Tableau 4 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'enfant et l'adolescent dans le sport (d'après Malina et al. (2007) actualisé).

Sport	Pays	N	Age (ans)	Critère	Prévalence Surpoids	Prévalence Obésité
Football américain μ	USA	653	8.7-14.6	CDC	19.9 %	25.1 %
				IOTF	24.7 %	14.9 %
Football !	Portugal	127	11.1-15.2	CDC	8.3 %	-
				IOTF	9.1 %	-
Football @	USA	187	9.0-14.7	CDC	15.5 %	4.8 %
				IOTF	16.0 %	2.7 %
Basketball +	Portugal	101	11.9-14.5	CDC	13.9 %	10.9 %
				IOTF	13.9 %	9,9 %
Athlétisme §	Hongrie	107	8.8-14.5	CDC	3.7 %	0.9 %
				IOTF	4.7 %	-
Multisport scolaire #	Pologne	143	10.5-15	CDC	5.3 %	0.7 %
				IOTF	5.3 %	-
Rugby****	France	738	9-14	CDC	-	-
				IOTF	32.8 %	13.8 %
Sports divers en compétition**	Italie	10469	6-17	CDC	-	-
				IOTF	12.3 %	1.5 %
Rugby***	France	114	11-18	CDC	33.0 %	Surpoids dont obésité
Natation***	France	42	11-18	IOTF	23.8 %	
Judo***	France	51	11-18	IOTF	19.6 %	
Tennis***	France	83	11-18	IOTF	19.3 %	
Soccer*	Grèce	176	U13-U16	IOTF	25.1 %	0.0 %

μ Malina et al., 2007 ; ! Kontos et al., 2000 et Cumming et al., 2002 ; @ Malina et al., 2000, 2004 ; + Coelho e Silva, 2003 ; § Pápai, 2004 ; # Ignasiak, 2003 ; *Nikolaïdis et al., 2012 ; **Mascherini, et al., 2019 ; ***Thibault et al., 2010 ; ****Gavarry et al., 2018.

c) Focus de la prévalence de l'obésité au rugby :

Malgré la rareté des données, la prévalence du surpoids semble très élevée dans les sports de contact. Plus spécifiquement, une prévalence élevée du surpoids est observée dans le football américain (40 %, Malina et al., 2007) et dans le rugby (33 % : Thibault et al., 2010 ; 47 % : Gavarry et al., 2018). Comparativement à l'étude récente de Gavarry et al. (2018), cette prévalence est supérieure de 27 points à la prévalence de la population générale du même âge (GBD, 2014).

D. Risque de blessures dans le sport chez l'enfant et l'adolescent en situation d'obésité :

McHugh et al. (2009) mettent en évidence que l'adolescent en surpoids augmente de 1,4 à 3,9 fois le risque de se blesser par rapport à un adolescent normopondéré. Richmond et al. (2013) observent également que le risque de blessures sportives augmente de 34 % chez les adolescents obèses par rapport à ceux de poids normal. Ces mêmes auteurs n'observent pas, cependant, de différence lorsqu'ils analysent l'incidence des blessures graves amenant à une prise en charge médicale. Ce constat s'expliquerait par une moindre exposition de l'enfant obèse à des pratiques sportives intenses. Dans une récente revue systématique, Toomey et al. (2020) confirment chez le jeune sportif qu'une forte adiposité est associée à un plus grand risque de blessures, et tout particulièrement au niveau des membres inférieurs. Ces mêmes auteurs suggèrent ainsi que l'obésité comme facteur de risque serait plutôt dépendant du type et du site de blessure. Timm et al. (2005) ou encore Marchi et al. (1999) ont pu montrer une persistance plus importantes des douleurs et des séquelles post-traumatiques chez l'enfant en surpoids.

Différents mécanismes sont avancés pour expliquer ces altérations chez le jeune sportif en surpoids. L'augmentation de l'inflammation systémique par l'excès d'adiposité est incriminée. En lien avec cet état inflammatoire, il a été également démontré que l'abondance de cytokines pro-inflammatoires pouvaient inhiber les hormones anabolisantes, mobilisées pendant la phase de croissance et de développement (Cooper et al., 2004). Ces mêmes hormones telles que la GH semblent être moins réactives à la stimulation d'un exercice aigue chez l'enfant en surpoids *versus* normopondéré (Eliakim et al., 2006). Outre cet effet inflammatoire, d'autres mécanismes biomécanique et neuromusculaire semblent être pointés comme étant des facteurs de risque de blessures dans le sport. L'obésité est de ce fait souvent associée à un niveau faible de contrôle neuromusculaire avec altération de l'équilibre et de la coordination.

Présumer de la causalité entre le risque de blessure et l'obésité n'est pas chose aisée. Nombreuses sont les études qui ont étudié le sujet dans le sport mais qui malheureusement n'ont pas abouti à un consensus en raison d'une grande diversité méthodologique et de résultats contradictoires. Pour exemple et comme évoqué précédemment, une valeur haute de l'IMC ne reflète pas nécessairement un excès d'adiposité. Ainsi, ce biais méthodologique vient très tôt interroger les résultats des études ayant établi une corrélation (ou pas) entre l'obésité et le risque de blessure à partir de l'IMC.

1. L'instabilité posturale incriminée

De nombreux auteurs ont montré chez l'enfant obèse une altération de la capacité du contrôle postural se traduisant par une moindre stabilité posturale dynamique après analyse fonctionnelle du mouvement au cours du cycle de marche, mais également en situation statique (McGraw et al., 2000 ; Colné et al., 2008 ; Hills et al., 1991 ; Deforche et al., 2009). Plusieurs causes sont mentionnées : la forme du corps de par la distribution du tissu adipeux, la plus grande taille (Mignardot et al., 2013), une moindre efficacité du contrôle neuromusculaire (Sun et al., 2015) et une moindre sensibilité des mécanorécepteurs plantaires (Teasdale et al., 2013), un déficit proprioceptif au niveau de la flexion du genou (Wang et al., 2008), ou encore une force musculaire relative plus faible nécessaire au déplacement du corps contre la gravité (Moliner-Urdiales et al., 2010). Cependant certains auteurs suggèrent l'usage de différentes stratégies posturales afin de compenser la réduction de la capacité d'équilibre de l'enfant obèse (Pau et al., 2011).

2. Epidémiologie des blessures chez le jeune joueur de rugby

Le taux d'incidence de blessures basé sur des populations internationales s'élève à environ 30/1000 heures de jeu chez le jeune joueur compétiteur, et à près de 75/1000 heures de jeu chez le joueur adulte professionnel.

De manière générale l'incidence des blessures chez le jeune joueur de rugby est plus élevée que dans les autres sports, et moins élevée que chez les adultes professionnels et amateurs dans le même sport. La revue systématique de Bleakley et al. (2011) met en évidence une grande étendue de l'incidence des blessures variant de 27,5 à 129,9 blessures pour 1000 heures de jeu chez le jeune joueur de rugby *versus* entre 91 et 97,9 blessures pour 1000 heures de jeu chez le joueur professionnel. Cette grande variation est en partie due aux différences de définition entre les études. Certaines d'entre elles considèrent l'existence d'une blessure lorsque celle-ci nécessite simplement une attention médicale, et d'autres lorsqu'elle induit un arrêt de la pratique nommé par les anglo-saxons de « time-loss ». Selon Junge et al. (2004), l'utilisation du « time-loss » serait plus pertinent et plus représentatif de la morbidité d'une blessure, sachant que près de 80 % des blessures suscitant une attention médicale ne seraient pas associées d'un arrêt de la pratique. L'unité du dénominateur choisie pour quantifier le nombre de blessure pourrait de même influencer les résultats. Effectivement, certains auteurs utilisent le nombre

d'heures effectuées en match, alors que d'autres intègrent les heures de pratique à l'entraînement, et parfois ces deux situations de pratique sont prises en compte. Par ailleurs, les différentes politiques de prévention menées dans les différents pays peuvent également biaiser l'interprétation des données comparatives dans le temps entre les différentes nations. Enfin, le niveau de pratique pouvant être relevé comme un biais notamment chez les plus jeunes, pour lesquels l'évolution de l'apprentissage technico-tactique et des qualités physiques sont très disparates, ce qui induit forcément des conséquences sur le risque de blessure.

L'évolution du risque de blessures est associée à plusieurs facteurs principaux tels que :

- L'âge, même si le sens de l'association n'est pas clair comme peut en témoigner la littérature. Effectivement, Bleakley et al. (2011) dans une revue systématique ou encore Haseler et al., (2010) font le constat d'une tendance à l'augmentation du risque de blessures avec l'âge (tableau 5). Cependant, Sewry et al., (2018) décrivent chez les jeunes joueurs sud-africains une diminution du risque de blessure avec l'augmentation de l'âge. Plus précisément, ce dernier constate une diminution du risque de blessure chez les moins de 18 ans comparativement au moins de 13 et 16 ans.
- Le niveau de maturation, plus précisément la phase de « poussée de croissance » semble être une phase critique à risque de blessures en lien avec une altération du contrôle neuromusculaire et proprioceptif (Bisi et Stagni, 2016), et d'une prédisposition aux fractures. Pour cette dernière, l'asynchronisme entre la vitesse de croissance et l'accumulation de la masse osseuse en serait la cause (Blimkie et al., 1993 ; Bailey et al., 1989).
- Les situations de jeu telles les phases de tackle et de mêlée sont décrites les plus à risque (tableau 6). La phase de tackle est bien identifiée dans la littérature comme étant la phase comportant le taux d'incidence de blessures le plus élevé, de l'ordre de 7,4/1000 heures de jeu chez le jeune joueur de rugby (Sewry et al., 2018).
- Le moment du match semble être aussi incriminé, plus on avance dans le match et plus le risque de blessures augmente, en partie à cause de la fatigue qui s'installe (Sewry et al., 2018).

Les sites de blessures les plus exposés sont généralement la tête, la face, les épaules, la clavicule, le cou, les genoux et les chevilles. Lorsque ces sites sont classés par région, les

régions de la tête et du rachis cervical semblent être les plus touchées, avec en second lieu la région des membres inférieurs (Sewry et al., 2018).

Concernant le type de blessure chez le jeune joueur de rugby, les auteurs observent que le système nerveux central et périphérique serait le plus concerné par les blessures dont la première cause semble être la commotion cérébrale. Les lésions ligamentaires (de la cheville) et articulaires (de l'épaule) semblent être le deuxième type de blessures les plus fréquentes (Sewry et al. 2018). Concernant les blessures graves, celles-ci semblent plutôt concerner des fractures ou luxations des membres supérieurs et des ligaments du genou avec une incidence entre 1,7 et 2,1 blessures pour 1000 heures de jeu selon la définition retenue (plus de 21 jours d'arrêt de la pratique ou nécessitant un diagnostic médical approfondi). Selon la revue systématique de Bleakley et al. (2011), l'incidence des blessures graves serait plus faible que dans certains sports tels que le football, le football américain ou encore la lutte. Ces mêmes auteurs précisent néanmoins qu'aucune blessure qualifiée de « catastrophique » n'a été relevée.

Tableau 5 : Incidence des blessures au rugby en fonction de l'âge (Bleakley et al., 2011).

Age, y ^a	Nathan et al 1998 ^b (per 1000 playing h)	Davidson 1987 ^b (per 1000 player-seasons)	Jones et al 200 ¹³ (values extracted from graph)	Lee and Garraway 1996 ^b (per 1000 player-seasons)	Durie and Munroe 2000 ^c (per 1000 match h)	McIntosh et al 2009 ^d (medical-attention or time-loss injury)
Under 19	7.7 ^d	25.6 ^a	2.5	230.8 ^f	NA	NA
Under 18			NA		65.8	63/22.2
Under 17			NA		25	NA
Under 16	3.4		1.6	126.1	21.8	NA
Under 15	4.8	18.4	1.1	88.9	27.9	56.2/22.3
Under 14	1.7		0.7	64.2	28.5	NA
Under 13	1.0	13.6	NA	46.4	18.5	43.3/11.8
Under 12	NA	NA	NA	42.0	NA	NA

Abbreviation: NA, not available.

^aTrend across age groups ($\chi^2_3=55$, $P<.0001$).

^bDifferences across groups for both medical-attention ($P=.003$) and time-loss ($P<.001$) injuries.²⁴

^cSignificant linear increase in risk of injury from U13 to U18 (1st XV) ($\chi^2_{22}=85.5$, $P<.0001$).²¹

^dParticipants were under age 17 through under age 19.²⁷

^eParticipants were under age 16 through under age 19.

^fParticipants were under age 17 through under age 19.

Tableau 6 : Incidence des blessures au rugby en fonction des phases de jeu chez le jeune (Bleakley et al., 2011).

Phase of Play	Nathan et al 1983 ²⁰	Roux et al 1987 ²¹	Lee and Garraway 1996 ²⁴	Lewis and George 1996 ^{25a}	Bird et al 1998 ¹³	Durie and Munroe 2000 ²¹	McManus and Cross 2004 ^{26a}	Junge et al 2004 ²²	Collins et al 2008 ¹⁹	McIntosh et al 2009 ^{27a}
Tackling	22	25	40	19	19	18.5	52.3	NA	28.8	25/30/32
Being tackled	25	30	24	23	22	22	NA	NA	30.8	25/23/25
Scrum	18	8	2	4	NA	13.7	5.9	NA	NA	10/4/3
Ruck	6	18	13	26.9	26.9	31.5	4.7	NA	14	NA
Maul	NA	NA	2	NA	NA	NA	9.5	NA	NA	NA
Line out	4	1	1.6	NA	NA	8.3	1.2	NA	NA	NA
Open play	11	8	9.5	11	NA	5.9	13	NA	9.9	NA
Other	6	7	8.8	NA	NA	NA	15.5	NA	NA	NA
Foul play	8	4	NA	NA	NA	NA	1.2	NA	4.9	NA
Contact/ noncontact	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	66.8/33.2	NA	NA

Abbreviation: NA, not available.

^aValues extracted from graphs.

^bHead, face, and neck injury for under age 18 players only.

E. Les risques prédictifs d'une obésité précoce à l'âge adulte

Dès les années 90, les scientifiques se sont intéressés au devenir des enfants et adolescents obèses. Serdula et al (1993) précisaient que le risque d'obésité chez les adultes était au moins deux fois plus élevé chez les enfants obèses que chez les enfants non obèses. Ces auteurs concluaient également que le risque d'obésité chez les adultes était associé à la sévérité et à la précocité de l'obésité. Plus récemment, Craigie et al. (2009) ont mis en évidence qu'une surcharge pondérale ou une obésité à l'âge de 12 ans, augmentait le risque par 4 d'être obèse à l'âge de 33 ans, ou de développer une obésité dite centrale (accumulation de graisse intra-abdominale). Un constat similaire est rapporté dans la méta-analyse de Simmonds et al. (2016). En effet, les enfants et les adolescents obèses étaient environ cinq fois plus susceptibles d'être obèses à l'âge adulte que ceux qui n'étaient pas obèses. Environ 55 % des enfants obèses l'étaient à l'adolescence, environ 80 % des adolescents obèses l'étaient à l'âge adulte, et environ 70 % l'étaient après 30 ans. Selon Gordon-Larsen et al. (2010) presque la totalité des adolescents obèses (90 %) le resteront à la trentaine. The et al. (2010) se sont plus spécifiquement intéressés au taux d'incidence de l'obésité sévère (IMC > 40 kg.m² ou > 120 % de l'IMC au 95^{ème} percentile du CDC). Ces auteurs précisent que plus de 70 % d'adultes touchés par une obésité sévère l'étaient à l'adolescence, contre seulement 8 % qui étaient de poids normal. Ces résultats de la littérature mettent en évidence la nécessité d'intervenir chez l'enfant et l'adolescent pour réduire et prévenir l'obésité. Il est donc communément acquis que l'adolescent obèse est plus susceptible de devenir un adulte obèse qu'un adolescent de poids

normal ou en surpoids. Une association significative entre les variations de l'IMC à différents âges de l'enfance et le risque d'obésité à l'âge adulte a été montrée dans la littérature, avec l'existence de périodes critiques (Zhang al., 2019). La période du rebond d'adiposité (5-6 ans), les périodes de croissance intra-utérine (notamment courant du 3^{ème} trimestre), et les périodes pubertaire (11-16 ans) et post-pubertaire (17-19 ans) sont mentionnées à risque. Guo et al. (1999) avaient déjà identifié le début de l'adolescence (13 ans) et la fin de l'adolescence (18 ans) comme une période prédictive d'un surpoids à l'âge adulte, en étudiant pour un IMC supérieur au 95^{ème} percentile la probabilité à tous les âges d'être en surpoids à l'âge de 35 ans (figure 3). Zhang et al. (2019) montrent une association significativement plus élevée entre le taux de variation de l'IMC et l'obésité chez les adultes à la puberté et après la puberté (12-19 ans) que par rapport à la petite enfance (4-11 ans), avec un pic à l'âge de 14 ans. Selon Sachdev et al. (2005), le poids de naissance et le taux d'évolution d'IMC pendant l'enfance prédictent le niveau de masse maigre à l'âge adulte, alors que le niveau de masse grasse à l'âge adulte est plutôt prédit par le taux d'évolution de l'IMC à la fin de l'enfance et à l'adolescence. L'influence de ces périodes à risque serait indépendante de la durée d'installation de l'obésité, puisque la probabilité qu'un enfant obèse devienne un adulte obèse augmente avec l'âge de l'enfant.

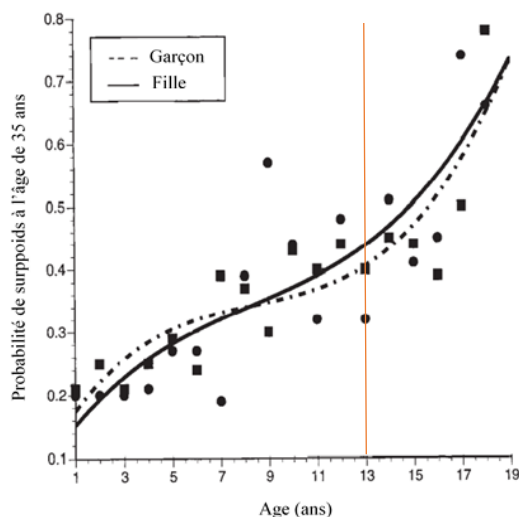


Figure 3. Probabilité d'être en surpoids à 35 ans à partir d'un IMC > 95 percentile au cours de l'enfance (Guo et al., 1999).

S'agissant des co-morbidités et de la mortalité associées à l'obésité, les études longitudinales basées sur des grandes cohortes convergent vers le même constat, l'obésité à l'adolescence est fortement associée à la surmortalité à l'âge adulte. (Engeland et al., 2003 ; Twig et al., 2014). Il a été observé une mortalité à l'âge adulte de 30 à 40 % plus élevée pour un IMC élevé à l'adolescence comparativement à un IMC normal (Engeland et al., 2004). Cette surmortalité se manifesterait pour de nombreux auteurs à partir de la trentaine. A titre d'illustration, Plourde et al. (2002) ont démontré qu'il y avait un risque accru de devenir un adulte en surpoids ou obèse conjugué à des profils glucidiques et lipidiques anormaux lorsque l'on était un adolescent en surpoids. Sathanur et al. (2002) ont pu avancer que l'incidence du syndrome X chez le jeune adulte était associée positivement à la distribution en quartile de l'IMC et de l'insuline chez l'enfant. Ainsi nombreuses sont les observations scientifiques qui tendent à penser qu'une prise en charge précoce de l'obésité réduirait le risque de complications à l'âge adulte.

Après avoir détaillé l'obésité dans ses généralités, nous avons pu observer, malgré la rareté des données, une prévalence du surpoids élevée dans les sports de contact. Plus précisément, le surpoids chez le jeune joueur de rugby ne semble pas être sans conséquence sur sa santé. La cinétique pathogénique peut aussi bien faire apparaître des troubles somatiques et psychiques très tôt durant l'enfance ou l'adolescence, comme plus tardivement à l'âge adulte. Les périodes pré-pubaire, pubaire et post pubaire sont propices au développement ainsi que prédictives d'une obésité, et de ses complications à l'âge adulte. Il est admis que la prévention de l'obésité doit s'initier très tôt dans l'enfance et l'adolescence.

II. La puberté

S'intéresser aux mécanismes de la puberté chez le garçon, ainsi qu'à la cinétique de son développement semble être un incontournable pour appréhender les modifications de la composition corporelle, notamment à des âges charnières sur le plan biologique tels que ceux ciblés dans nos travaux, c'est-à-dire entre 8 et 15 ans. Cette partie aura pour finalité d'apporter un état des connaissances actuelles sur la maturation sexuelle, son timing, et les évolutions physiques majeures associées chez le garçon. Il sera par conséquent important d'identifier les outils disponibles susceptibles d'aider à la détection de ces mécanismes, et par conséquent de mieux distinguer les modifications physiques relevant du processus normal de maturation à ceux qui relèveraient d'une surcharge pondérale. Enfin, l'imbriication du développement pubertaire avec celui de l'obésité sera analysée.

A. Généralités

La puberté est une période transitoire de la vie d'une durée d'environ 4 ans, où l'enfant va acquérir le bagage physiologique nécessaire pour se reproduire, et ainsi devenir adulte. Nombreux sont les changements physiques, psychiques, émotionnels, sociaux et comportementaux qui vont caractériser cette période. Les manifestations pubertaires que nous investiguerons seront la croissance du squelette, la maturation sexuelle se manifestant par l'apparition des caractères sexuels dits secondaires et ses conséquences anthropométriques et physiques qui en découlent.

D'une manière très synthétique, chez les garçons, le premier signe de la puberté apparaît à l'âge moyen de 12 ans avec pour première manifestation, l'hypertrophie testiculaire (reflétant le développement des tubes séminifères) suivi 6 mois après, du développement de la pilosité pubienne constituant le marqueur initial de la maturation sexuelle. Par la suite, l'évolution ascendante très rapide du squelette, amenant à un pic de vitesse de croissance de l'ordre de 10 cm/an caractérise le pic pubertaire (Neinstein et al., 2002). Lors de ce pic de vitesse de croissance appelé par les anglo-saxons, « growth-spurt » ou encore « Peak Height Velocity » (figure 4), la vitesse de croissance traduite par l'élévation de la taille debout par unité de temps atteint donc un maximal chez le garçon (outre l'évolution de première année de vie, ≈ 20 à 25 cm/an) aux alentours de 13/14 ans (Rogol et al., 2000, Mirwald et al, 2002). Il faut également noter que l'augmentation de la masse maigre s'initie également en début de puberté couplée à plusieurs manifestations physiologiques telles qu'une élévation du niveau d'adénosine

triphosphate (ATP) au repos, du taux de créatine phosphate, d'une différenciation des fibres musculaires ... et vient à se poursuivre nettement sur la fin de l'adolescence. L'évolution de ce tissu en particulier ainsi que celle du tissu graisseux seront approfondies un peu plus loin dans ce manuscrit.

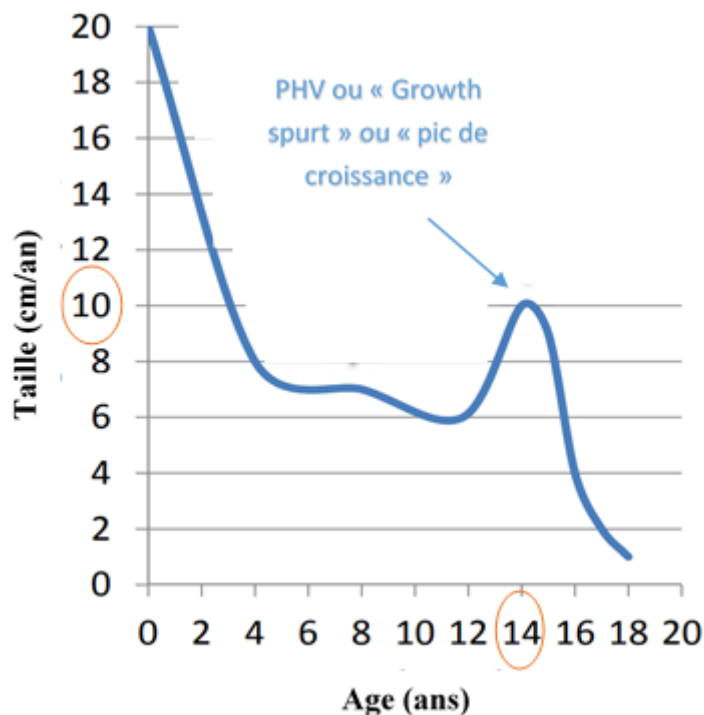


Figure 2. Modélisation de l'évolution de la vitesse de croissance chez l'enfant (Wood et al., 2019).

1. Les différents stades

Cette période pubertaire peut être aussi décomposée en plusieurs phases chronologiquement successives :

- La phase dite pré-pubertaire appelée l'adrénarchie (modification du cortex surrénalien), se déclenche entre l'âge de 6 et 8 ans.
- La phase faisant référence au premier changement gonadique dite « gonadarchie », se déclenche à un âge moyen de 12 ans (Tanner et al., 1997). Cette phase est considérée comme le début à proprement parlé de la puberté.

- La phase appelée « pubarche » indiquant l'apparition des poils pubiens, se déclenchant environ 6 mois après la phase précédente.
- La phase du « pic de vitesse de croissance » ayant lieu entre 1 et 2 ans après le premier changement gonadique soit entre l'âge de 13 et 15 ans.
- La phase appelée « spermarche » faisant référence au développement de la spermatogénèse et *in fine*, à la capacité de se reproduire.

2. La classification de Tanner et nouvelle modélisation

La classification de Tanner (1962) est également la plus utilisée et détermine 5 stades pubertaires (avec pour stade 1 : la pré-puberté et stade 5 : adulte). Cette classification est basée sur les différents caractères sexuels secondaires et cliniquement observables tels que le volume et le diamètre des testicules, la pilosité du pubis, la couleur et le volume du scrotum, la croissance du pénis. Certains auteurs ont également croisé ces différents stades avec les courbes de vitesse de croissance et d'autres caractéristiques secondaires. La figure 5 présente une modélisation synthétique de l'évolution clinique de la puberté à partir des principales caractéristiques retrouvées dans la littérature.

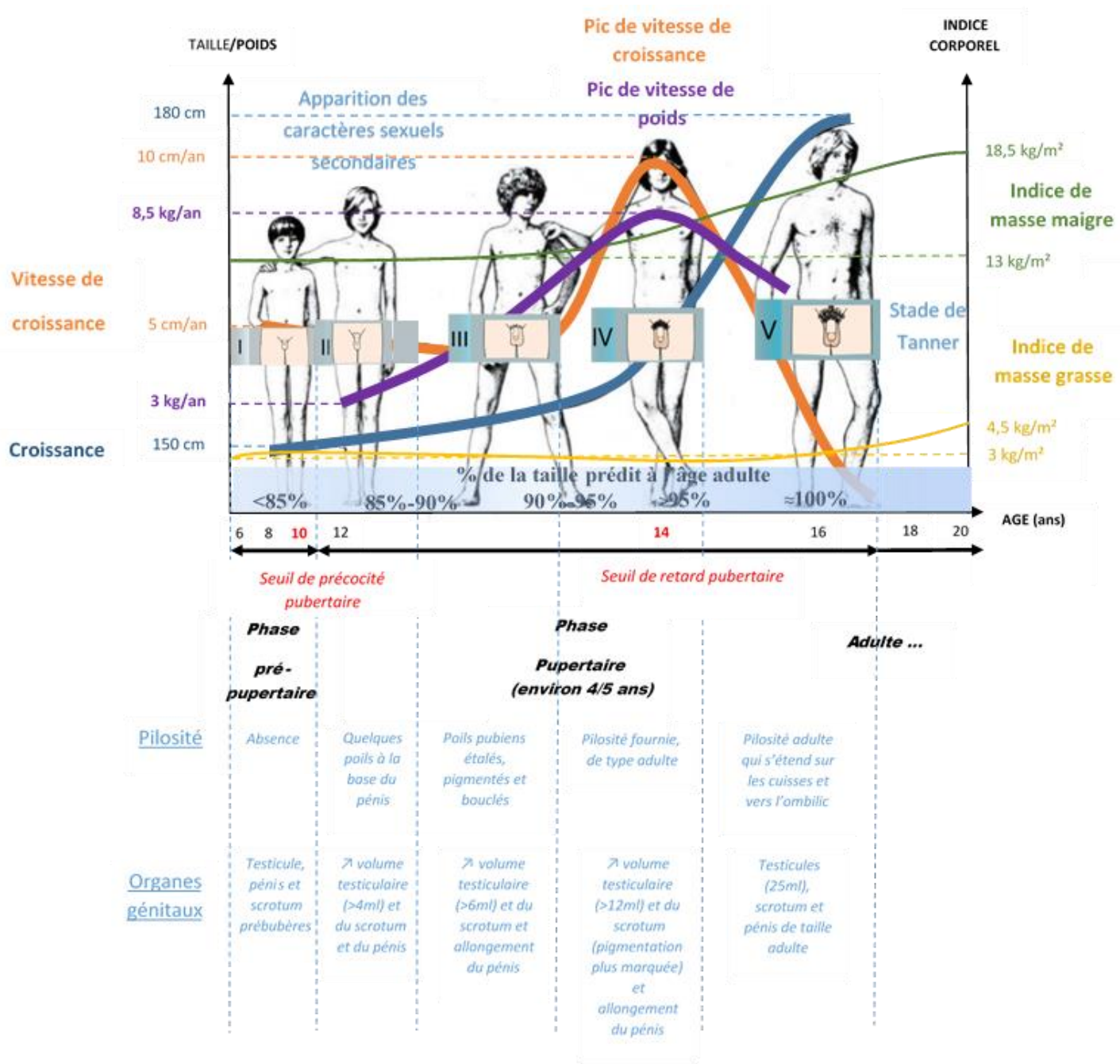


Figure 3. Modélisation du pattern des caractères de maturation observables au cours de la phase pubertaire (à partir de contenus graphiques réalisés par Sizonenko PC. et téléchargés par Kostovski Z., pouvant être soumis au droit d'auteur).

B. La variabilité pubertaire.

Le début de la puberté et son évolution interviennent à des âges chronologiques très variables d'un enfant à un autre. Effectivement des enfants de même âge peuvent présenter un développement biologique très différent (Baxter-Jones et al., 2005). Cette grande variabilité interindividuelle de la maturation biologique se traduit selon Lloyd et al. (2014) par plusieurs critères :

- Le moment du déclenchement de la puberté (le *timing*)
- La durée du changement pubertaire (l'*amplitude*)
- Le taux de changement de la maturation ou encore la vitesse du changement (le *tempo*).

Les enfants vont être ainsi considérés comme biologiquement avancés, en retard ou dans les temps par rapport à l'âge chronologique (Malina et al., 2004), et en lien manifestement aux 3 critères susvisés.

Lloyd et al. (2014) proposent une représentation graphique théorique mettant en évidence le caractère non linéaire de la maturation contrairement à la linéarité de l'âge chronologique. A partir de cette représentation, l'association des trois critères (*timing*, *amplitude* et *tempo*) permet d'illustrer les différences entre un enfant de maturité précoce *versus* de maturité avancée (figure 6). Même si *a priori* les auteurs s'accordent à dire qu'un enfant de maturité précoce aurait tendance à avoir une vitesse de croissance plus élevée, l'influence du *timing* reste très controversée concernant ses conséquences sur l'atteinte de la taille à l'âge adulte. Le choix du paramètre pubertaire ainsi que de l'absence de contrôle de certains facteurs environnementaux, et en particulier de la variable IMC seraient susceptibles d'expliquer ces différences. Effectivement, une faible valeur d'IMC viendrait à expliquer la plus petite taille à l'âge adulte d'enfants de maturité précoce (Dorn et Diro, 2011). Néanmoins, selon Vizmanos et al. (2001), même si l'âge du début de la puberté chez le garçon affecte l'intensité et la durée du pic de croissance, donc en quelque sorte l'*amplitude* et le *tempo*, il n'y aurait pas de conséquence sur la taille finale conformément au cadre théorique de Lloyd et al. (2014). Cumming et al. (2011) précisent cependant que même si les différences de taille viennent effectivement à disparaître à l'âge adulte, il semble subsister des différences de masse corporelle en valeur absolue et relative à la taille.

Le *tempo* est encore trop peu exploré, notamment s'agissant de ce que pourraient impliquer des vitesses différentes de maturation sur certains niveaux d'acquisition et de développement psychosociaux. Une corrélation inverse existe entre le *timing* de la puberté et son *tempo*, ce qui est en accord avec le modèle théorique de Lloyd et al. (2014). Ainsi, plus le *timing* est avancé par rapport à l'âge « chronologique », et plus le *tempo* est lent. D'une autre manière, plus la maturité est précoce et plus l'évolution de la maturation sur une durée donnée est faible.

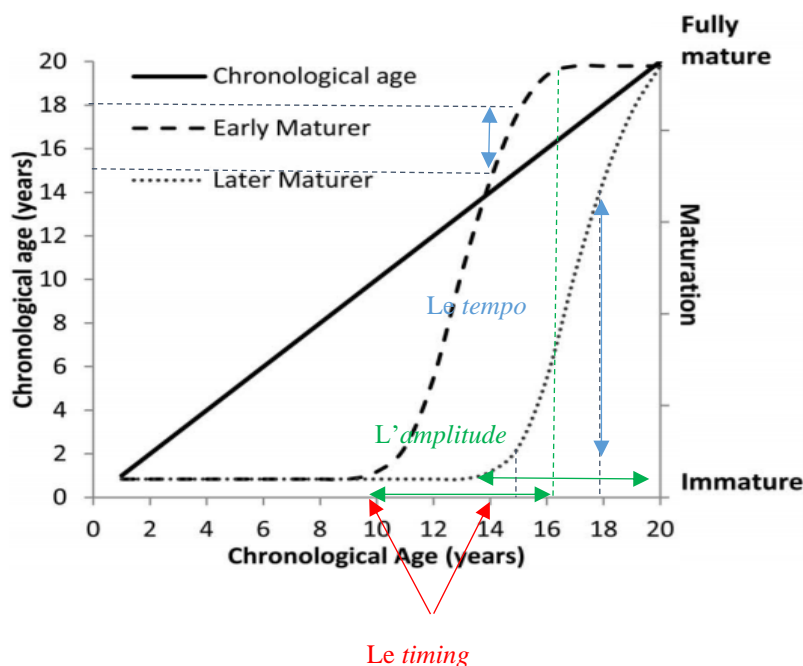


Figure 4. Tendance de l'évolution théorique de la maturation et de ses critères (*timing*, *tempo* et *amplitude*) chez le garçon de maturité précoce vs tardive (Lloyd et al., 2014).

La variabilité de la croissance et de la maturation entre enfants de même classe d'âge est très importante. Marshall et Tanner (1970) ont par exemple montré que les organes génitaux commençaient à se développer (stade 2 de Tanner) entre 9 et 13,5 ans, et atteignaient leur maturité (stade 5 de Tanner) entre 13 et 17 ans. Il a donc été observé une différence de 4 à 4,5 années pour un même niveau de maturation. Si nous venons appréhender la maturité sous le prisme de la croissance et d'autres caractéristiques somatiques, les anciens travaux de Pineau (1961) avaient déjà témoigné de ces résultats. En effet, une moindre variabilité des caractères anthropométriques au sein de mêmes stades pubertaires qu'au sein de mêmes classes d'âge chronologique est constatée. De même, à un même niveau de maturité, contrairement au même

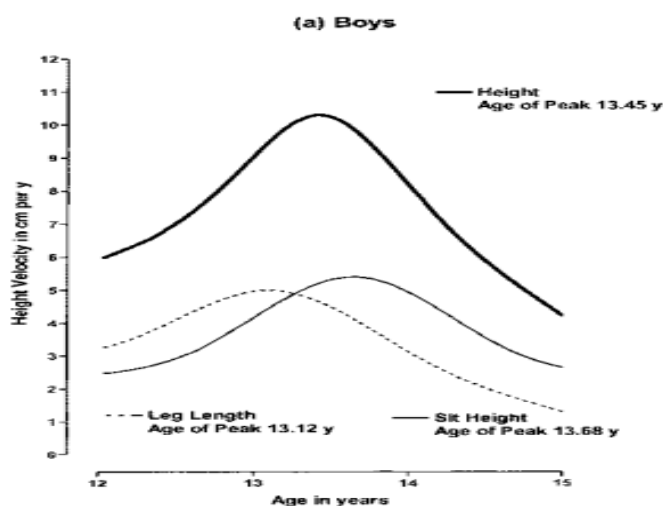
âge, aucune différence significative de poids ou de masse grasse est observée chez la fille comme chez le garçon (Luliano-burns et al., 2001).

Outre cette variabilité avérée, l'enfant peut connaître aussi un véritable retard pubertaire, défini chez le garçon sur le plan clinique par l'absence d'augmentation de volume testiculaire au-delà de 14 ans. L'arrêt de l'évolution de la puberté pendant plus de 2 ans peut aussi évoquer une origine pathologique. La cause peut être au niveau du système nerveux central et hypothalamo-hypophysaire (d'ordre congénital, fonctionnel (l'anorexie), tumoral, déficitaire) ou périphérique gonadique (d'ordre syndromique). En très faible proportion, certains enfants peuvent être aussi sujets à des retards pubertaires simples sans cause pathologique véritable. Il est également possible que le déclenchement de la puberté soit précoce. Il est admis que l'apparition de signes de puberté avant 10 ans chez le garçon soit considérée comme une puberté précoce avec une étiologie d'origine centrale et hypothalamo-hypophysaire ou périphérique gonadique.

L'évaluation du stade pubertaire est alors envisagée afin entre autres d'appréhender au mieux les modifications physiques relatives au processus normal de maturation.

1. Vitesses de croissance corporelle différenciées

La détermination de l'âge du pic de vitesse de croissance proposée par Mirwald et al. (2002) est basée sur l'hypothèse que l'état de maturation peut être fourni par les relations entre les différentes vitesses de croissance corporelle. Effectivement, Garn et al. (1986) avait déjà observé l'influence de la maturation sur le développement segmentaire différencié des membres supérieurs et inférieurs. Plus précisément, Mirwald et al. (2002) ont constaté pendant la puberté, que la courbe de vitesse de croissance du haut du corps était différente à celle du bas du corps. Il présente alors les différents *timings* des pics de vitesse de la taille debout, assise et de la longueur des jambes (figure 7). Ce constat est ainsi non négligeable, notamment dans la mesure où les valeurs des caractéristiques anthropométriques sont généralement normalisées à la taille debout. Ainsi, le niveau de maturation pourrait biaiser l'interprétation de certains indices de composition corporelle tels que l'IMC.



Note : Leg length : longueur de jambe, height velocity : vitesse de croissance de la taille, sit height : taille assise, age of peak : âge du pic de vitesse de croissance pic)

Figure 7. Timing des pics de vitesse de la taille debout, assise et de la longueur de la jambe chez le garçon (Mirwald et al., 2002).

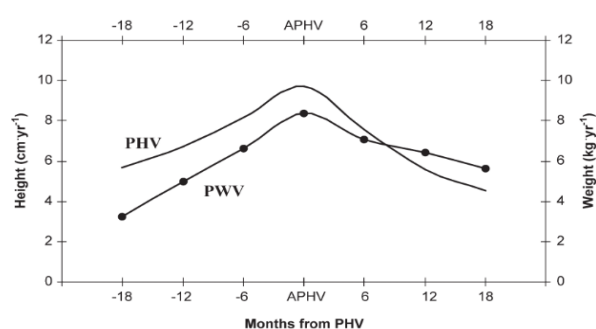
2. La variabilité de la maturation chez les jeunes joueurs de rugby et les conséquences anthropométriques et physiques

Même si les résultats ne sont pas excessivement étayés, la maturation semble également varier d'un individu à l'autre au cours de l'adolescence chez le jeune sportif. Malina et al. (2004) ont par exemple mis en évidence à partir de la méthode de prédiction de l'âge du pic de vitesse de croissance, des différences de maturité entre nationalités, et selon les différentes positions de jeu (avant/arrière) chez les jeunes joueurs de rugby. Till et al. (2017) suggèrent que les différents postes de jeu pourraient être attribués en fonction du niveau de maturité. Suite à un suivi longitudinal chez de jeunes joueurs de football, Philippaerts et al. (2006) ont montré que la plupart des caractéristiques de performance (test « Eurofit ») ainsi que le poids étaient corrélés à la maturation. Plus précisément, le pic de vitesse d'évolution de ces caractéristiques évoluait de manière synchrone au pic de vitesse de croissance (figure 8). Cependant, l'ensemble des performances continue tout de même à augmenter après ce pic, certainement en lien avec l'augmentation de la masse musculaire et l'amélioration de ses propriétés contractiles, ainsi qu'avec l'effet de l'entraînement. Effectivement, Waldron et al. (2014) insistent sur le pouvoir anabolisant des androgènes de croissance dont la sécrétion augmente significativement au cours

de cette période post-pubère (15-17 ans), venant à expliquer l'augmentation des circonférences musculaires, du poids et du squelette (Hansen et al., 2004 ; Vänttinen et al., 2011). Par ailleurs, l'élévation des concentrations de testostérone durant la puberté chez le garçon augmente la lipolyse en plus d'augmenter la synthèse protéique et la croissance des fibres musculaires, laissant penser à l'accentuation d'un meilleur rapport masse corporelle/puissance (Veldhuis et al., 2005). Ainsi cette période post-pubère semble influencer grandement l'évolution corporelle de l'adolescent.

Motor tests	Timing	Peak velocity (unit·year ⁻¹)
FBA	At moment of PHV	2.5 attempts
PLT	At moment of PHV	0.8 s
SAR	12 months after PHV	2.7 cm
SUP	At moment of PHV	2.7 sit-ups
BAH	At moment of PHV with plateau	7.6 s
SLJ	At moment of PHV with plateau	10.5 cm
VTJ	At moment of PHV	5.1 cm
SHR	At moment of PHV	1.6 s
SSPRINT	At moment of PHV	0.9 s
DASH	At moment of PHV with plateau	0.4 s
ESHR	At moment of PHV	1.5 min
STEMPO	At moment of PHV	3.5 s

Abbreviations: PHV = peak height velocity; FBA = flamingo balance; PLT = plate tapping; SAR = sit and reach; SLJ = standing long jump; VTJ = vertical jump; SUP = sit-ups; BAH = bent arm hang; SHR = 10 × 5 m shuttle run; SPRINT = 5 × 10 m shuttle sprint; DASH = 30 m dash; ESHR = endurance shuttle run; STEMPO = anaerobic capacity as measured by a shuttle run.



(APHV : âge du pic de vitesse de croissance, PHV : pic de vitesse de croissance, PWV : pic de vitesse de poids)

Figure 8. Timing et pics de vitesse, de performance (Eurofit), de masse corporelle et de croissance (Philippaerts et al., 2006).

Dans le cadre d'une étude longitudinale d'une durée de 6 ans conduite chez de jeunes joueurs de rugby (U16), Till et al. (2014) observent également qu'une maturité précoce amène à de plus grandes tailles « debout » et « assis », ainsi qu'à une masse corporelle plus importante. Cependant, aucune association avec les caractéristiques de performance n'a été observée, excepté pour la puissance du haut du corps (Till et al., 2011b). Selon Figueiredo et al. (2009b), une maturité précoce n'est pas forcément un gage de meilleures qualités physiques ou de capacités fonctionnelles. Une masse grasse élevée chez les joueurs de maturité précoce pourrait limiter cependant leurs performances physiques (Till et al., 2010a). Selon Till et al., (2014), les adolescents à maturité tardive augmentent davantage leur taille et leurs performances, rattrapant assez rapidement leurs pairs à maturité précoce. Plusieurs auteurs mentionnent que les joueurs à maturité tardive pourraient, à plus long terme, avoir un meilleur potentiel de croissance, et de progression des capacités physiques que leurs pairs de maturité précoce (Lefevre et al., 1990 ;

Le Gall et al., 2002 ; Waldron et al., 2014). L'enfant à maturité tardive pourrait compenser son infériorité physique par le développement de compétences techniques et tactiques, et/ou un profil psychologique plus adaptatif et résilient (Malina et al., 2015).

La puberté, définie comme une période de fort développement de la croissance et de la maturation de l'enfant au stade de l'âge adulte, présente d'une grande variabilité interindividuelle en termes de timing et de tempo. L'évolution des tissus corporels, en lien avec les mécanismes endocriniens sous-jacents étroitement liée à la maturation, se caractérise de même par une grande variabilité de la composition corporelle pour un même âge chronologique. Par conséquent, le suivi de la composition corporelle doit être envisager tout au long de la période pubertaire et post-pubère, et plus particulièrement de manière longitudinale. Cette imbrication maturation/croissance corporelle laisse à penser qu'un fin suivi anthropométrique (taille, masse corporelle, masse maigre et masse grasse) puisse témoigner de façon fiable de l'état de maturation de l'enfant. Une méthode valide et reproductible, facile de mis en œuvre, est nécessaire pour suivre simultanément l'évolution des différents tissus, et être en mesure de proposer des valeurs corporelles « normées » pour chaque niveau de maturation. Dans cette logique, on peut penser que cet exercice contribuerait à faciliter la différenciation d'une évolution corporelle pathologique (exemple : l'obésité), avec celle relevant du processus naturel de maturation, notamment dans le cadre d'une maturité précoce ou tardive. De par l'influence du tissu adipeux dans l'altération des réponses neuroendocriniennes de la puberté, ou encore des qualités physiques, l'identification d'une accumulation anormale et spécifique de tissu adipeux est une raison supplémentaire pour justifier de la pertinence du dit suivi. Enfin, au regard de certaines études mentionnant l'absence de différences significatives de certaines caractéristiques anthropométriques entre enfants de même niveau de maturité, il convient d'entrevoir qu'une évaluation corporelle puisse, *in fine*, traduire aussi un état de maturation. De la même façon, grouper des enfants selon leurs caractéristiques anthropométriques n'entraîne pas manifestement de discordance sur le plan de la maturation.

III. Le diagnostic de la surcharge pondérale

La surcharge pondérale est définie comme étant un excès de masse grasse engendrant un risque sur la santé. Nous nous intéresserons ici à la façon d'apprécier le mieux possible le niveau de masse grasse (appelé chez les anglo-saxons « Body fatness ») chez l'enfant au cours de la croissance ainsi qu'*in fine*, comparer et classer l'obésité infantile. Nous serons donc amenés à appréhender l'expression de la composition corporelle chez l'enfant et l'adolescent afin de faire état d'un modèle d'estimation de l'adiposité. Nous devons également nous attacher à déterminer autant que possible les valeurs de référence indispensables à l'appréciation de la notion d'excès, telle que décrite dans la définition, et toujours dans les différentes périodes de l'enfance et de l'adolescence. Il nous semble incontournable de préciser quelques généralités sur le tissu adipeux sur les différents plans histologique, anatomique et fonctionnel que nous serons amenés à quantifier.

Il a été identifié deux grands types de tissu adipeux chez l'homme (Himms-hagen et al., 1997) :

- Le tissu adipeux blanc appelé également tissu adipeux uniloculaire, car les cellules adipeuses qui le composent, contiennent une seule gouttelette lipidique.
- Le tissu adipeux brun, appelé comme tel en raison de sa composition importante en mitochondries et d'une riche vascularisation, témoigne d'une forte capacité d'oxydation par rapport au précédent. Il est appelé également tissu adipeux multiloculaire car les cellules adipeuses qui le composent, contiennent plusieurs petites vacuoles lipidiques. Ce tissu adipeux représenterait 2 à 5 % du poids de corps chez le nouveau-né, et participerait exclusivement à la production de chaleur par thermogénèse grâce à l'action de la thermogénine (UCP1, Uncoupling Protein 1). Cette protéine mitochondriale découplante désactiverait la phosphorylation oxydative dans la mitochondrie et empêcherait ainsi la production d'ATP au profit d'une énergie dissipée en chaleur.

L'humain comporte également un tissu adipeux sur le plan morphologique intermédiaire, dit beige appelé aussi « brite » (pour brown in white) comportant la même fonction de thermogénèse, la même activité métabolique élevée ainsi que de nombreuses caractéristiques morphologiques et métaboliques similaires à celui du tissu adipeux brun. Effectivement, comme ce dernier, le tissu adipeux beige est constitué de gouttelettes lipidiques multiloculaires, des mitochondries en grande quantité et est sensible à l'expression de la protéine de découplage 1 (UCP1). Cependant alors que la formation du tissu adipeux brun est embryonnaire, celle du

tissu adipeux beige prendrait sa genèse dans le tissu adipeux blanc en période post-natale (Petrovic et al., 2010).

A. Le tissu blanc

1. Sur le plan histologique

Le tissu adipeux blanc est un tissu conjonctif lâche dit spécialisé qui regroupe majoritairement des cellules adipeuses matures polyédriques (adipocytes) ainsi que de leurs cellules fibroblastiques précurseuses (préadipocytes). Ce tissu est organisé en lobules adipeux de taille moyenne de 5 mm séparés d'une cloison conjonctive fine appelée fraction vasculo-stromale. Cette dernière minoritaire, est une matrice constituée de fibres de collagènes, de fibroblastes, de capillaires sanguins, de nerfs, de macrophages, de pré-adipocytes ainsi que de cellules progénitrices ou précurseuses multipotentes (non déterminées en adipocytes). Cette fraction vasculo-stromale est grandement impliquée dans l'activité sécrétoire du tissu adipeux blanc et serait à la genèse des 2/3 des sécrétions du tissu adipeux. Leurs cellules adipeuses de forme sphérique contiennent une seule vacuole lipidique composée à 90/95 % de triglycérides, et sont appelées adipocytes uniloculaires. Leur cytoplasme renfermant réticulum, appareil de Golgi et mitochondries est réduit à une mince couronne. Leur noyau est aplati et refoulé contre la membrane plasmique entourée d'une fine membrane basale.

2. Ses fonctions et localisations

● Le tissu adipeux représente chez l'être humain normopondéré entre 15 et 20 % du poids corporel chez l'homme et 20 et 25 % chez la femme. Dans les cas d'obésité massive, ce tissu adipeux peut atteindre plus de 50 % du poids corporel. Le tissu adipeux se dépose dans tout le corps avec notamment des dépôts sous-cutanés et viscéraux qui vont constituer un stock d'énergie important et vont participer grandement à la régulation de l'homéostasie énergétique. Même si d'autres dépôts existent tels que le tissu adipeux de soutien, ou encore de la moelle osseuse assurant plutôt des fonctions de structure, de plastique corporelle, de protection et de comblement, nous nous intéresserons principalement aux deux premiers.

Le tissu adipeux sous-cutané est présent entre l'épiderme et l'aponévrose musculaire sur l'ensemble du corps, et contient environ 80 % de la graisse totale. Il existe une importante différence interindividuelle de répartition du tissu adipeux sous-cutané variant selon le sexe, l'hérédité, l'ethnie, l'âge, l'environnement hygiénique... S'agissant du tissu adipeux viscéral, il est situé au niveau thoraco-abdominal. Plus précisément, ce tissu adipeux se dépose en profondeur au niveau épiploïque, péri-rénal, gonadique, péricardique, et mésentérique. Il existe également des différences interindividuelles importantes avec un facteur prédominant qui est celui du sexe. En effet, ce dépôt viscéral est plus communément observé chez l'homme (représente entre 10 à 20 % de la graisse totale) plutôt que chez la femme (représente entre 5 à 8 % de la graisse totale).

Le tissu adipeux est également un organe endocrine associé à des voies autocrine et paracrine jouant un rôle dans la régulation de balance énergétique (pondérostat), mais également un rôle prépondérant sur le métabolisme des glucides, des lipides, l'immunité, la reproduction, l'angiogenèse et donc sur les mécanismes physiopathologiques des comorbidités de l'obésité. Des centaines de molécules sont identifiées à ce jour comme étant des produits de sécrétion adipeuse. Sont appelés adipokines ou adipocytokines, les produits de sécrétions issues strictement des adipocytes telles que par exemple la leptine ou l'adiponectine. Comme cité plus haut la fraction vasculo-stromale et plus particulièrement les cellules immunitaires vont contribuer grandement à la sécrétion de ces molécules. Sans détailler leur effet, nous pouvons citer quelques hormones, facteurs protéiques, lipidiques et enzymes sécrétés par le tissu adipeux tels que la protéine C-réactive (CRP), le facteur de nécrose tumorale- α (TNF- α), l'interleukine 6 (IL-6), la résistine, la visfatine, l'adipsine, l'inhibiteur de l'activateur du plasminogène (PAI-1), ... pour les plus anciennes ou encore l'apéline, la FGF-21 (pour Fibroblast growth factor-21) et la neuroréguline-4 de découverte plus récente.

3. Le développement du tissu gras pendant l'enfance et la puberté

Il est observé peu de différences de composition corporelle entre les deux sexes dans les premières années de vie. Même si la fille présente un tissu gras en pourcentage ou en valeur absolue (kg) légèrement plus élevé de 1 et 3 % que le garçon la première année de vie (Butte et al., 2000), il semble qu'il n'y ait pas de différence significative de masse grasse en valeur absolue (kg) entre les deux sexes jusqu'à l'âge de la puberté. De plus, sur cette même période de vie (entre 1 et 10 ans), il est également observé dans les deux sexes un très faible

développement de la masse graisseuse témoignant que le tissu adipeux se développe que très peu durant l'enfance après la première année de vie (Veldhuis et al., 2005). A l'inverse de chez le garçon, le tissu adipeux va accroître significativement son développement chez la fille à partir de la puberté (12-13 ans), à hauteur d'un peu plus de 1kg/an pour atteindre un gain de masse grasse en valeur absolue en fin de puberté de près de 5 à 6 kg (Loomba-Albrecht et al., 2009). A l'inverse chez le garçon, on note une absence significative de changement de masse grasse en valeur absolue tout au long de la période de maturation (Vedhuis et al., 2005 ; figure 9).

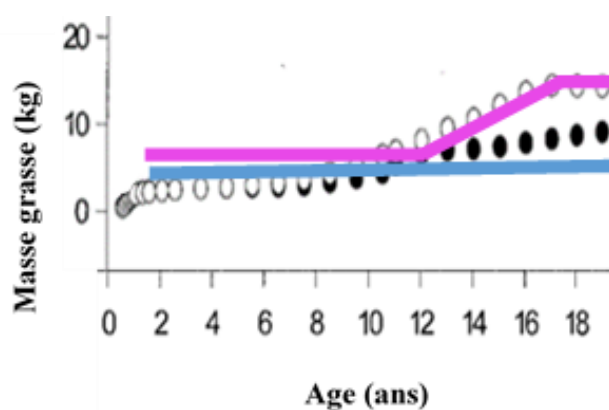


Figure 9. Modélisation du pattern d'évolution du tissu adipeux en valeur absolue (kg) au cours de la croissance chez le garçon (cercle plein – trait bleu) et la fille (cercle vide – trait rose) d'après Veldhuis et al., 2005.

Veldhuis et al. (2005) observent chez le garçon une diminution du tissu gras en valeur relative (%) vers les 12-13 ans en raison d'un développement concomitant et notoire du tissu maigre. Chez la fille, le pourcentage de tissu adipeux va avoir tendance à augmenter en lien dans un premier temps à une augmentation du développement du tissu gras (kg), mais également en raison d'une phase de stabilisation du développement du tissu maigre vers les 15-16 ans. Même si la littérature mentionne des limites à l'interprétation de la composition corporelle à partir de valeurs de tissu adipeux (ou maigre) en valeur absolue ou en valeur relative à partir du pourcentage, d'autres auteurs (Maynard et al., 2001; Freedman et al., 2005) présentent globalement le même pattern d'évolution des tissus corporels en valeur relative durant l'enfance et la puberté (figure 10) à partir d'indices standardisés à la taille, l'indice de masse grasse et l'indice de masse maigre ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Ces deux derniers indices suggérés comme étant de bons

indicateurs du statut nutritionnel de l'enfant et de l'adolescent (VanItallie et al, 1990 ; Wells et al., 2001) feront l'objet un peu loin dans ce manuscrit, de plus de détails.

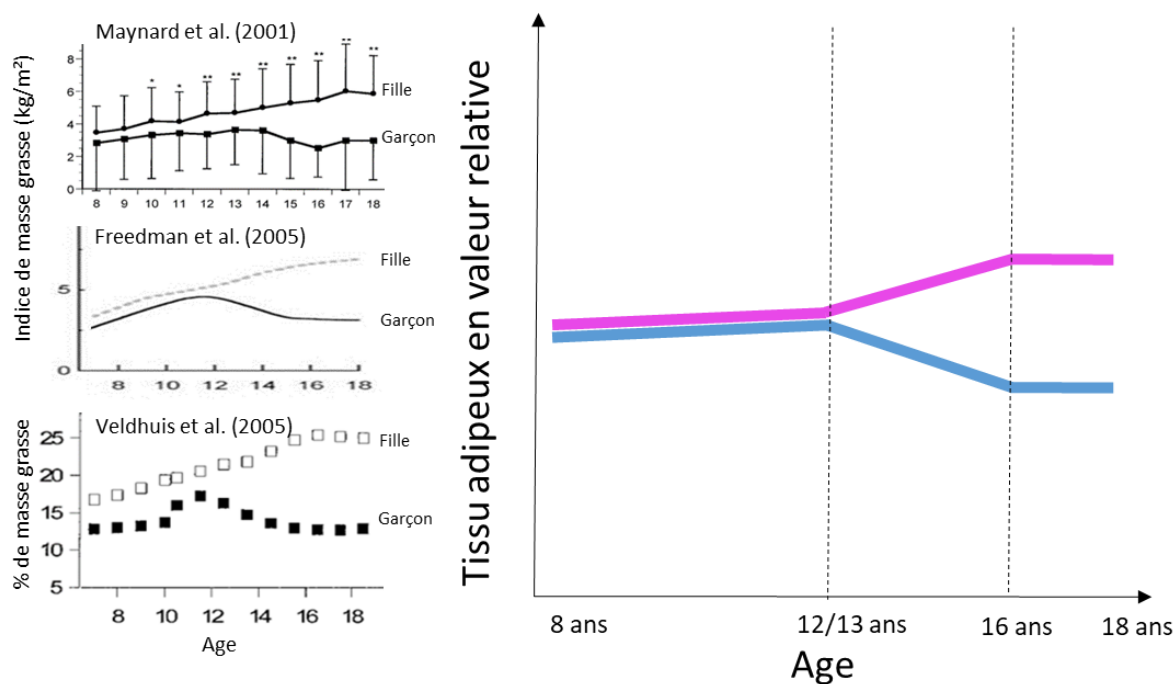


Figure 10. Modélisation du pattern d'évolution du tissu adipeux en valeur relative au cours de la croissance chez le garçon (trait bleu) et la fille (trait rose).

Même si un dimorphisme sexuel s'installe à la puberté aussi bien en termes de quantité que de distribution du tissu gras et de tissu maigre, nous nous limiterons à explorer le développement corporel uniquement chez le garçon.

B. L'estimation de l'adiposité

L'estimation de l'adiposité *in vivo* prend lieu dans une mesure plus globale du corps, et s'intègre généralement dans la mesure de la composition corporelle. La mesure de l'adiposité est étroitement imbriquée à celle des autres tissus corporels aussi bien sur un plan méthodologique que clinique. Effectivement la mesure quantitative du tissu adipeux ainsi que de sa localisation anatomique, associées à la mesure du tissu maigre peut être déterminant dans l'interprétation clinique telle que la prévention de certaines co-morbidités (obésité sarcopénique, cachéxie, syndrome métabolique...).

1. L'IMC

L'IMC ou encore indice de Quetelet, calculé à partir de la masse corporelle (kg) divisée par la taille (mètre) au carré ($\text{IMC (kg.m}^{-2}\text{)} = \text{masse corporelle} / \text{taille}^2$) représente théoriquement un indice de masse corporelle indépendant de la taille, de sorte qu'à tout âge, une masse corporelle relative plus élevée, ne peut être attribuée à une taille plus grande, mais principalement à une augmentation de la masse grasse corporelle. La considération de l'IMC comme prédicteur d'adiposité repose ainsi sur deux hypothèses :

- la masse corporelle est corrélée à la taille au carré
- les masses corporelle et adipeuse ajustées à la taille au carré sont dans les mêmes proportions indépendantes de la taille.

La première hypothèse semble se vérifier approximativement, notamment par les travaux de Heymsfield et al. (2011) montrant que la masse corporelle est significativement corrélée à la taille au carré ou à des puissances légèrement supérieures ou inférieures à 2, en fonction du sexe et des ethnies chez l'adulte. Pour la seconde hypothèse, ces mêmes auteurs précisent que l'association du tissu graisseux à la taille reste le modèle le plus « fragile » ($R^2 = 0,1-0,2$), comparé à ceux relatifs aux autres compartiments corporels (masse maigre, masse osseuse, $R^2 = 0,2-0,4$). Par ailleurs, pour le modèle de normalisation du tissu adipeux à la taille, il existe une grande variabilité de la puissance de l'exposant à appliquer à cette dernière, pouvant aller de 1,51 à 3 selon l'ethnie et le sexe. Néanmoins, la valeur entière et *a fortiori* approximative de l'exposant de la taille dans le calcul de l'IMC est bien connue, et ne fût que l'adaptation pratique de l'indice de Benn (1971) : Indice de Benn (kg.m^{-2}) = masse corporelle / taille^p. Benn et al. (1971) avaient constaté très tôt que la valeur de l'exposant (p) devait varier pour minimiser la corrélation de l'indice à la taille selon le sexe :

$$p = (\text{moyenne de la taille} / \text{écart type de la taille}) * (\text{écart type de la masse corporelle} / \text{moyenne de la masse corporelle}) * \text{indice de corrélation entre la masse corporelle et la taille.}$$

Heymsfield et al. (2011) ont ainsi proposé de développer des indices de composition corporelle dont la valeur de la puissance de l'exposant à la taille serait ajustée. Pour ces raisons, Burton et al. (2007) signalent que l'IMC pourrait être utilisé de manière inappropriée, notamment lorsqu'on est amené à comparer des populations d'ethnies, de sexe et d'âge différents. Ainsi, la pertinence de l'IMC devrait être systématiquement contrôlée au sein de la population ciblée

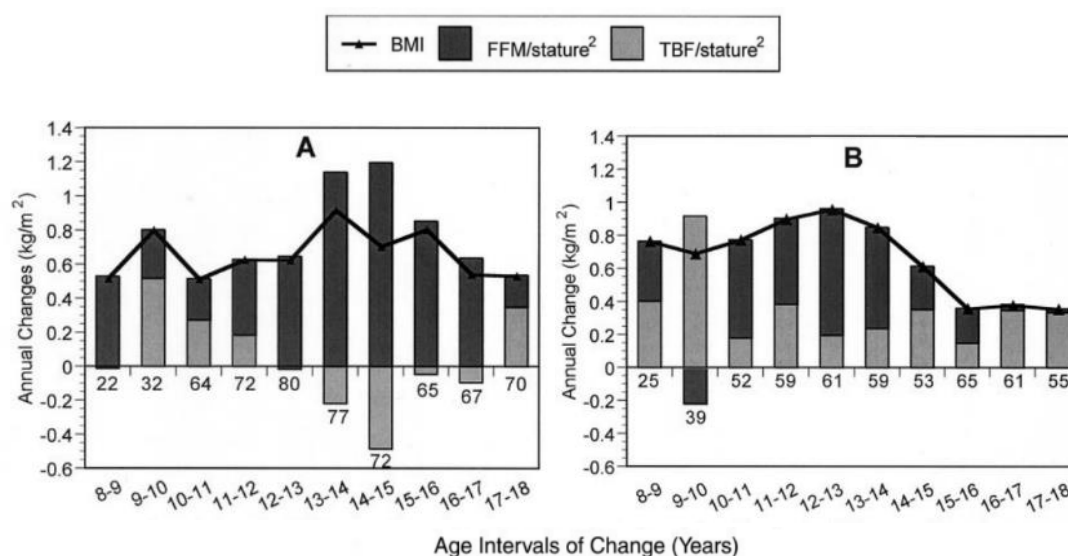
avant toute étude. Ces auteurs proposent de vérifier que la valeur de p soit suffisamment proche de 2, ou de contrôler le niveau de corrélation entre l'IMC et la taille. La capacité de l'IMC à évaluer l'adiposité chez l'enfant est ainsi remis en question par de nombreux auteurs en raison des changements de proportions corporelles au fil de la maturation. En effet, Maynard et al. (2001) ont mis en évidence une corrélation marquée entre l'IMC et la taille au sein d'une population d'enfants, observée chez ceux de même âge. Weber et al. (2013) précisent que cette corrélation est élevée notamment pendant la poussée de croissance entre 11 et 13 ans chez le garçon, un peu plus tôt chez la fille, et vient à diminuer à la fin de l'adolescence et à l'âge adulte. Dans une récente étude conduite auprès d'adolescents, Peterson et al. (2017) proposent d'abandonner l'IMC au profit de l'indice de masse corporelle cubique (IMC³). Pour cet indice, appelé par les anglo-saxons « Tri-ponderal Mass Index (TMI), est appliqué une valeur de $p = 3$, se révélant mieux apprécier l'adiposité chez les plus jeunes. La supériorité de l'indice de masse corporelle cubique comparée à l'IMC s'expliquerait pour plusieurs raisons : a) diminution d'erreur dans l'appréciation du surpoids de plus de 10 % par rapport aux Z-scores d'IMC, b) une meilleure estimation du niveau d'adiposité, particulièrement chez le garçon, c) l'indice de masse corporelle cubique expliquerait 64 % de la variance du pourcentage de masse grasse contre 38 % pour l'IMC, d) un usage plus simple en raison d'une stabilité de l'IMC³ au cours du développement de l'enfant, ne nécessitant pas l'utilisation de courbe de percentile évoluant avec l'âge. Par exemple, le seuil de l'IMC³ défini au 85^{ème} percentile proposé par ces auteurs chez des enfants américains caucasiens de 8 à 17 ans est de 16 kg.m⁻³ chez le garçon, et de 16,3 kg.m⁻³ chez la fille. Au regard de ces résultats, l'IMC mesure avec une certitude un excès de masse corporelle relative à la taille, mais la mesure de l'excès d'adiposité est remise en cause chez l'enfant (Heymsfield et al., 2007).

Malgré cela, l'IMC est communément utilisé comme outil de référence en France et dans d'autres pays, afin d'étudier la corpulence des populations et d'identifier la prévalence du surpoids. Dès le début des années 90, le percentile d'IMC ou encore un peu plus tard le Z-score d'IMC sont recommandés dans le cadre de la surveillance du surpoids dans la population pédiatrique (Dietz et al., 1988). L'évolution avec l'âge de l'IMC est similaire chez les garçons et les filles. Il augmente rapidement entre la naissance et l'âge de deux ans, puis décroît jusqu'à l'âge de 5-6 ans pour ré-augmenter (rebond d'adiposité) jusqu'à l'âge adulte. Bien qu'il soit recommandé et toujours utilisé dans une approche de santé publique, sa faible performance diagnostique dans la détection de l'excès de masse grasse chez l'enfant et l'adolescent est

reconnue dans la littérature scientifique, évaluée à l'aide de la courbe sensibilité/spécificité (courbe ROC : « receiver operating characteristic »). En effet, une bonne spécificité (> 90 %) mais une sensibilité faible sont constatées (37,5 à 43,3 % ; Eto et al., 2004 ; Behbahani et al., 2009). L'IMC va donc correctement identifier les enfants « non obèses » (nombre de faux-négatifs faibles), mais sa probabilité de détecter une obésité pour un enfant réellement obèse sera faible (nombre de faux-négatifs élevés). A titre d'exemple, Javed et al. (2015) considèrent que l'IMC serait capable d'identifier seulement un peu plus de 25 % des jeunes réellement en excès avéré de masse grasse.

Cette faiblesse diagnostique peut s'expliquer à d'autres niveaux, en sus des arguments déjà exposés. La taille, une des composantes de l'IMC, n'est pas sans risque d'utilisation, car celle-ci peut être affectée par la proportion entre la taille du tronc (interprétée par la taille assise), et par celle des segments inférieurs. L'IMC peut être influencé par la génétique à l'origine des différences de proportions corporelles entre individus. De plus, l'effet de la maturation sur le développement segmentaire différencié des membres supérieurs et inférieurs est à prendre en considération chez l'enfant. Considérant la place de la masse corporelle à son numérateur, l'IMC est influencé aussi bien par le tissu maigre que par le tissu adipeux (Garn et al., 1986). Une très forte corrélation entre l'IMC et le tissu maigre a été observée, ce qui nous amène à penser que ce dernier pourrait être aussi un bon indice d'estimation de la masse maigre. De la même façon, Maynard et al. (2001) considèrent que l'augmentation de l'IMC pendant l'enfance est majoritairement attribuée au tissu maigre plutôt qu'au tissu gras. Même si certaines études ont témoigné d'une bonne corrélation entre l'IMC et l'adiposité chez l'adulte, les données sont beaucoup moins évidentes tout au long du développement de l'enfant. Cette corrélation s'avère entre autres faible à un très jeune âge (Davies et al., 1989). Vanderwall et al. (2017) confirment que l'IMC est un faible prédicteur d'adiposité (masse grasse absolue ou relative) jusqu'à l'âge de 9 ans. Selon Pietrobelli et al. (1998), l'IMC semble rester tout de même un outil diagnostique acceptable à l'adolescence. Le niveau de corrélation entre l'IMC et l'adiposité chez l'adolescent (sans ajustement à l'âge) était proche des valeurs de l'adulte (R^2 0,94-0,95). Cependant, Vanderwall et al. (2017) ont tendance à modérer la force de la relation entre le Z-score d'IMC et l'adiposité, après avoir stratifié par l'âge sa population. De plus, Wells et al. (2000) soulignent qu'une grande plage de valeurs d'IMC et de % MG pour une même classe d'âge vient augmenter de manière notable l'intervalle de confiance, et donc le risque d'erreur. D'autres facteurs affectent la relation entre l'IMC et le niveau d'adiposité tels que l'origine

ethnique, la répartition des graisses, l'état pathologique et le niveau d'activité physique (Warner et al., 1997 ; Davies et al., 1989 ; Torun et al., 1994). La détection de la surcharge pondérale à partir de l'IMC est plus fiable pendant la période de l'enfance que celles de la jeune enfance et de l'adolescence (Daniels et al., 1997 ; Guo et al., 1997). Afin de ne pas ignorer la contribution du tissu maigre à l'IMC, Siervogel et al. (2000) et Maynard et al. (2001) se sont intéressés à la contribution de la masse maigre et de la masse grasse normalisées à la taille (indice de masse maigre et indice de masse grasse) dans l'évolution de l'IMC avec l'âge lors d'études longitudinales. Ainsi, les variations annuelles de contribution des masses maigre et grasse relatives dans l'IMC variaient tout au long de la croissance de l'enfant et de l'adolescent, et étaient dépendantes du sexe (figure 11). Ces auteurs ont fait également le constat que l'augmentation de l'IMC pouvait être attribuée exclusivement à celle du tissu maigre durant la phase pubertaire chez le garçon. Il est important de mentionner l'existence d'une très grande variabilité interindividuelle de ces indices pour un IMC donné. Se référer à un modèle dont les valeurs de référence d'IMC sont des moyennes, représente ainsi un risque d'erreur élevé dans l'estimation du niveau d'adiposité et/ou de tissu maigre (Siervogel et al., 2000). La variabilité de la masse maigre normalisée à la taille était inférieure de deux tiers par rapport à celle de la masse grasse dans l'étude de Wells et al. (2001). Selon Freedman et al. (2005), la variabilité la masse grasse normalisée à la taille était deux fois plus importante que celle du tissu maigre normalisée à la taille.



Note : BMI : IMC ; FFM : masse maigre ; TBF : masse grasse.

Figure 11. Changements annuels des contributions du tissu adipeux (masse grasse/taille²) et du tissu maigre (masse maigre/taille²) dans l'IMC chez le garçon (A) et la fille (B) (Maynard et al., 2001).

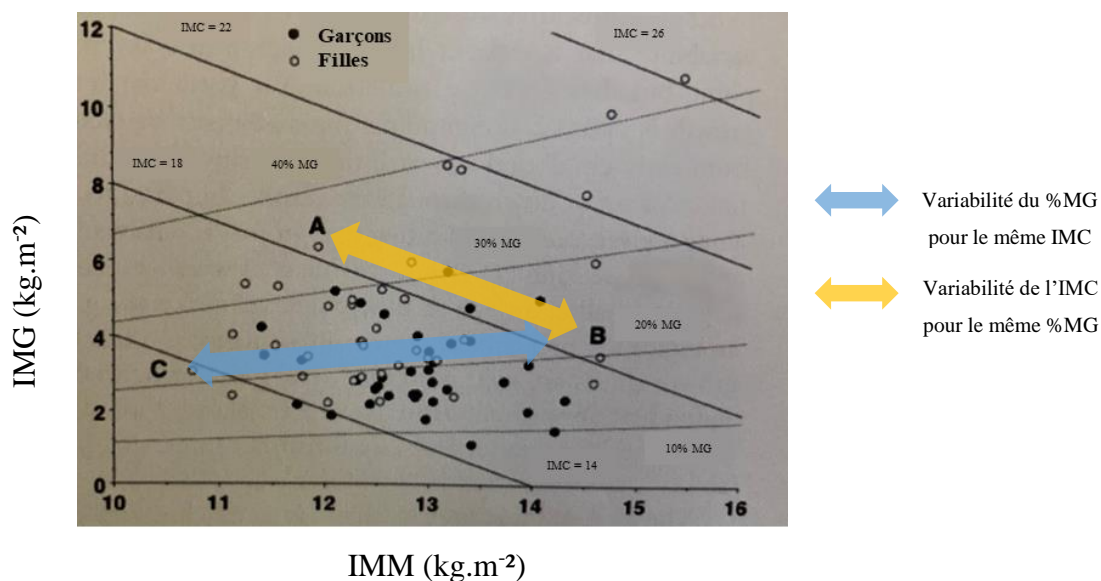
Même si la littérature scientifique semble être globalement convaincue de la faiblesse de l'IMC, Wells et al. (2001) et Freedman et al. (2004) estiment que l'IMC reste un bon outil d'évaluation du changement d'adiposité dans le cadre d'un suivi individuel de l'enfant. En effet, la variation de l'écart type de l'IMC était attribuée principalement à un changement d'adiposité, lorsque le changement de composition corporelle se fait sur une courte période (Cole et al., 1995). Selon Freedman et al. (2005), plus le niveau d'adiposité de l'enfant est élevé, plus l'IMC est un outil diagnostique fiable de l'excès de masse grasse. De la même façon, Demerath et al. (2006) considèrent qu'une augmentation de l'IMC reflète des changements d'adiposité dans les plus hauts percentiles de la population étudiée chez l'adolescent. Cependant, l'inverse est observé chez l'adolescent de faible poids, cette augmentation étant plutôt attribuée à des variations du tissu maigre.

A ce jour l'IMC, simple d'usage et toujours en vigueur dans les études épidémiologiques contemporaines pour identifier le surpoids, apporte insuffisamment de précisions quant à la détection d'un excès d'adiposité chez l'enfant et l'adolescent du fait de sa faible sensibilité. Il est donc aisé d'imaginer que l'IMC ne peut être préconisé dans une approche informative, dont l'objectif est de pouvoir définir des valeurs de référence et *in fine*, de comparer, classer... au sein d'une population de jeunes sportifs.

2. Le pourcentage de masse grasse

Le pourcentage de masse est également utilisé comme un indice d'adiposité selon la formule suivante : $\% \text{ MG} = \text{masse grasse (kg)} / \text{masse corporelle (kg)} \times 100$. Sa détermination nécessite l'utilisation de méthode de mesure de la graisse corporelle (méthode des plis cutanés, bioimpédancemétrie, pléthysmographe à déplacement d'air, DEXA...). Son utilisation pour caractériser l'excès de masse grasse est critiquée dans la littérature. Tout d'abord, depuis un prisme très mathématique, la masse grasse se trouve à la fois au numérateur et au dénominateur dans la mesure où la masse corporelle contient cette même masse adipeuse. Dès lors, plus la masse grasse en absolue est importante, et plus l'évolution (négative ou positive) du pourcentage de masse grasse est lente. En quelque sorte, plus l'obésité est sévère et moins les changements de masse adipeuse (gain ou perte) entraîneront de modification de cet indice. Ainsi selon Eto et al. (2004), l'expression de l'adiposité à partir du % MG chez l'enfant vient à sous-estimer la masse grasse en valeur absolue. Deuxièmement, tout comme l'IMC, cet indice semble ne pas être en mesure de distinguer le tissu gras du tissu maigre (Weber et al., 2013).

Ainsi, un % MG élevé pourrait aussi bien refléter une adiposité élevée qu'un faible niveau de tissu maigre. Par ailleurs, cet indice masque les variations intraindividuelles et la variabilité interindividuelle du tissu maigre (Eto et al., 2004 ; Wells et al., 2001). Le % MG serait également donc inefficace pour dépister un excès de masse grasse dans la situation où seraient associées une masse grasse et une masse maigre élevées. Selon Weber et al. (2013), la diminution de la valeur médiane du pourcentage de masse grasse chez les garçons âgés de 11 à 17 ans est sans doute le résultat de l'accumulation rapide de masse maigre pendant la puberté. Enfin, cet indice n'est pas indépendant de la taille. Un individu plus grand aura tendance de manière générale à avoir un pourcentage de masse grasse plus important. A partir de deux approches conceptuelles prenant en considération à la fois l'IMC et le % MG (VanItallie et al., 1990 ; Hattori et al., 1997), Wells et al. (2014) mettent en évidence une grande variabilité du pourcentage de masse grasse pour une même valeur d'IMC et réciproquement. L'enfant A et B d'IMC identique (18 kg.m²) présentent un % MG différent : 20 et 35 % respectivement. L'enfant C et B de % MG identique (20 %) présentent un IMC différent : 14 à 18 kg.m² respectivement (figure 12).



Note : IMC : indice de masse corporelle ; % MG : pourcentage de masse grasse ; IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse.

Figure 12. Variabilité du pourcentage de masse grasse et de l'IMC depuis le modèle graphique d'Hattori chez l'enfant (Wells et al., 2014).

En l'absence d'un consensus concernant la définition d'un excès d'adiposité, les méthodes de détermination de valeurs « seuil » de % MG, basées sur des critères liés à des facteurs de santé ou sur la distribution d'une population, donnent des résultats assez variables dans la littérature scientifique. Certaines études ont cherché à définir une valeur seuil au-delà de laquelle il y a une augmentation du risque de morbidité et de la mortalité. Les seuils de % MG varient en fonction du facteur de risque étudié (pression artérielle, cholestérol total, LDL, HDL, triglycérides, insuline). Selon cette approche basée plus spécifiquement sur le risque cardiovasculaire, Williams et al. (1992) ont défini un seuil de 25 % chez le garçon et de 30 % chez la fille. Dwyer et al. (1996) ont proposé un seuil identique chez la fille mais de 20 % chez les garçons ainsi qu'une grande variabilité dans la population étudiée (entre 15 % et 30 %, IC 95 %). Higgins et al. (2001) critiquant la faiblesse de la méthode utilisée pour estimer la masse grasse dans ces précédentes études (*via* les plis cutanés) estiment selon la même approche un seuil à 33 % pour des enfants pré-pubères à partir de l'utilisation de l'absorptiométrie biphotonique à rayons X (DEXA). D'autres études se sont basées sur la détermination des seuils spécifiquement à l'âge et au genre selon une approche statistique à partir des percentiles de la distribution des valeurs de % MG ou d'IMC d'une population. Selon cette dernière approche, Taylor et al. (2002) ont proposé des seuils similaires chez le garçon et la fille pour des enfants (entre 24 et 30 %) et pour des pré-pubères entre 34 et 36 %. Des seuils bien distincts ont été présentés selon le genre en fin d'adolescence par ces mêmes auteurs, soit un seuil entre 27 et 30 % MG chez le garçon et 42 % MG chez la fille. Les outils d'évaluation du niveau d'adiposité, les approches méthodologiques, le genre et l'ethnie représentent de même des facteurs d'influence dans la détermination de valeurs « seuil » de % MG à partir de laquelle l'obésité est caractérisée. Pour illustrer, Lee et al. (2007) indiquent que les valeurs « seuil » du surpoids et de l'obésité dans une population d'enfants et d'adolescents coréens (tableau 7) semblent être inférieures à celles de la population caucasienne chez les plus jeunes (7-13 ans), mais supérieures chez les adolescents d'un âge plus avancé (13 ans et +). De plus, cette même étude dite « statistique » met en évidence qu'une seule valeur « seuil » de % MG n'est pas appropriée pour classer le surpoids et l'obésité à travers une large tranche d'âge, contrairement à l'approche « épidémiologique ».

Tableau 7 : Valeurs des seuils de pourcentage de masse grasse chez le jeune coréen selon le sexe et l'âge basées sur les seuils d'IMC (IOTF) du surpoids et de l'obésité. (Lee et al., 2007).

Age (y)	Overweight				Obesity			
	Boys		Girls		Boys		Girls	
	BMI [†]	% BF	BMI [†]	% BF	BMI [†]	% BF	BMI [†]	% BF
7	18.2	22.0	18.0	23.9	21.1	27.3	21.0	30.9
8	18.8	21.9	18.7	24.9	22.2	28.0	22.2	33.4
9	19.5	22.6	19.5	26.2	23.4	30.0	23.5	36.5
10	20.2	21.8	20.3	27.7	24.6	29.6	24.8	39.8
11	20.9	21.6	21.2	29.5	25.6	29.9	26.1	43.3
12	21.6	21.3	22.1	31.5	26.4	29.7	27.2	46.6
13	22.3	20.9	23.0	33.3	27.3	29.3	28.2	49.3
14	23.0	20.5	23.7	34.7	28.0	28.7	28.9	51.2
15	23.6	19.9	24.2	35.8	28.6	27.7	29.3	52.2
16	24.2	19.1	24.5	36.4	29.1	26.5	29.6	52.7
17	24.7	18.1	24.9	36.8	29.7	25.2	29.8	53.2
18	25.0	16.8	25.0	36.8	30.0	23.4	30.0	53.3

Note : Overweight : surpoids ; obesity : obésité ; boys : garçons ; girls : filles ; BMI : indice de masse corporelle ; % BF : pourcentage de masse grasse.

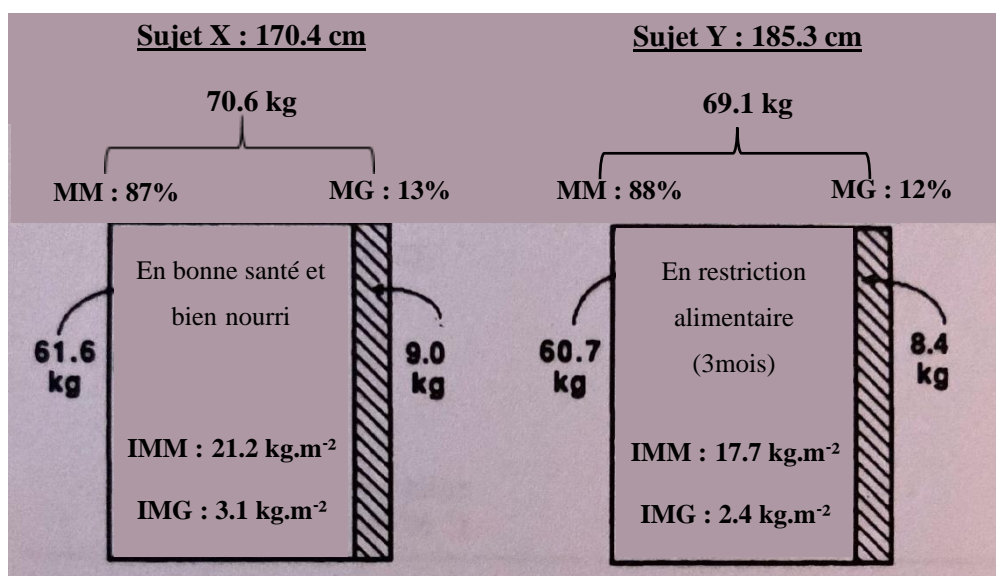
Wells et al. (2001) soulignent que les tissus gras et maigre doivent être tous les deux normalisés à la taille s'il est envisagé d'entreprendre des comparaisons entre individus. Ils préconisent alors d'appréhender le dépistage d'un excès d'adiposité par une approche à deux compartiments (maigre et gras) selon le concept de VanItallie et al. (1990). Les deux grandes adaptations méthodologiques légitimant ce concept sont a) la normalisation à la taille des deux compartiments étudiés, se traduisant par l'indépendance des deux tissus à la taille, b) l'analyse simultanée et séparée de ces deux compartiments.

3. La masse grasse et maigre normalisées à la taille

La méthode de normalisation à la taille des indices de composition corporelle fut initiée par VanItallie et al. (1990) dans un souci d'évaluation nutritionnelle. Dans cette étude, les différences de tailles expliquaient 45 % de la variance de la masse maigre (kg), et 2 % de celle de la masse grasse (kg). Pour illustrer le risque d'erreur diagnostique, ces auteurs ont comparé deux jeunes sujets de même poids et de mêmes masses grasse et maigre (kg et %), mais de taille et de statut nutritionnel différents (figure 13). Ils concluent que l'absence de normalisation à la taille rend infructueux les indices de composition corporelle dans l'interprétation du statut nutritionnel. Ces deux indices appelés Indice de Masse Maigre (IMM) et Indice de Masse Grasse (IMG), traduits respectivement par les anglo-saxons en Fat-Free-Mass Index (FFMI) ou Lean-Body-Mass Index (LBMI) et Body-Fat-Mass Index (BFMI) ou Fat-Mass Index (FMI) sont représentés par les formules suivantes :

$IMM (kg.m^{-2}) = \text{Masse Maigre (kg)} / \text{Taille}^2 (m)$ et $IMG (kg.m^{-2}) = \text{masse grasse (kg)} / \text{Taille}^2 (m)$ sachant que $IMC (kg.m^{-2}) = IMM (kg.m^{-2}) + IMG (kg.m^{-2})$

Wells et al. (2002) avaient cependant trouvé des valeurs de p très différentes entre la masse grasse ($p = 5,82$) et la masse maigre ($p = 2,06$) chez l'enfant de 8 ans, rendant discutable ces équations selon l'âge de la population. Néanmoins, malgré cette différence de la valeur de p , Burton et al. (2007) précisent que ce biais reste faible car la taille représenterait moins de 8% de la variance de l'IMG.

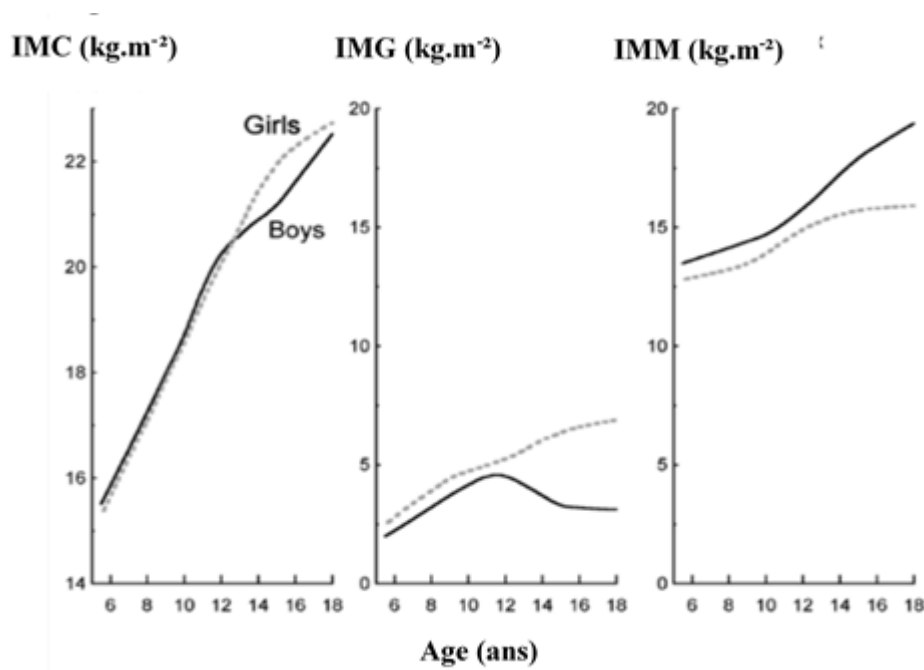


Note : IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse.

Figure 13. Comparaison des valeurs de composition corporelle exprimées en % et en kg de masse corporelle vs en kg.m⁻² de deux jeunes sujets de statuts nutritionnels différents (VanItallie et al., 1990).

D'une manière plus prospective, Van Itallie et al. (1990) invitent la communauté scientifique à proposer des valeurs de référence de ces deux indices dans une logique informative, afin de comparer des enfants au sein d'une même population. Dès le début des années 2000, différentes recherches se sont intéressées aux jeunes populations dans l'identification du type et du niveau de corpulence par cette méthode. Des valeurs de référence ont été ainsi produites selon l'âge et le genre. Nakao et al. (2003) présentent des valeurs d'IMM et IMG pour une classe d'âge entre 3 et 11 ans d'une population japonaise. Ces derniers proposèrent de convenir de normes basées sur des seuils des 25^{ème} et 75^{ème} percentiles d'une population donnée. Freedman et al. (2005)

ont présenté pour la première fois des courbes proposant l'évolution d'IMM et d'IMG selon le sexe au cours de la croissance (figure 14). Ils distinguent ainsi une évolution au fil de l'âge propre à chaque indice mais également spécifique à chaque sexe.



Note : IMC : indice de masse corporelle ; IMG : indice de masse grasse ; IMM : indice de masse maigre

Figure 14. Evolutions des indices de masse corporelle (IMC), de masse grasse (IMG), et de masse maigre (IMM) au cours de la croissance (Freedman et al., 2005).

Par la suite, plusieurs auteurs ont présenté des courbes de référence des différents percentiles d'IMM et d'IMG selon l'âge chez des jeunes populations anglaises (5-20 ans ; Wells et al., 2012), américaines (garçons : 8-21 ans ; Weber et al., 2013) et coréennes (garçon : 10-19 ans ; Park et al., 2015). Même si pour Wells et al. (2012), la courbe du dernier percentile d'IMG chez le garçon semble assez singulière, les tendances des courbes d'IMG et d'IMM retrouvées chez les différents auteurs semblent se conformer aux courbes tendances proposées par Freedman et al. (2005). Plus récemment, d'autres études ont proposé des valeurs de référence chez l'enfant Brésilien (Morais de Oliveira et al., 2016), Espagnole (Durá-Travé et al., 2020) ou encore Mexicain (Alpízar et al., 2020). Les valeurs médianes d'IMG et d'IMM disponibles dans la littérature sur la classe d'âge 3-20 ans sont présentées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Valeurs médianes d'IMG et d'IMM disponibles chez l'enfant et le jeune adulte.

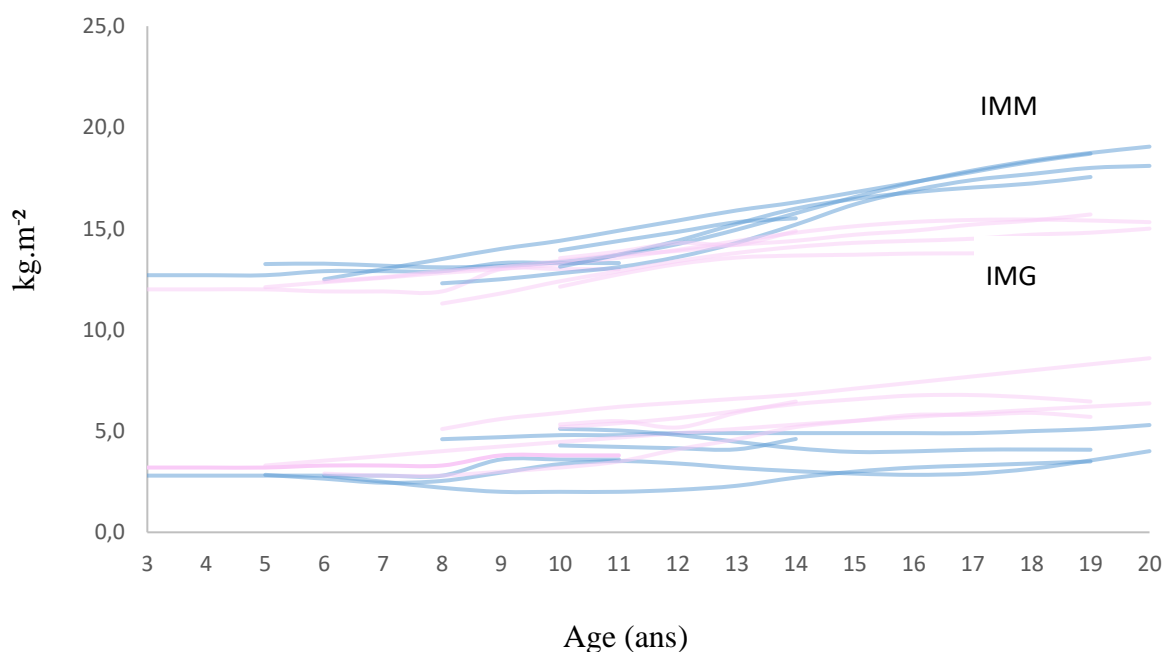
Valeurs médianes d'IMM (kg.m ²)													
Etude	Nakao et al. (2003)		Weber et al. (2013)		Wells et al. (2012)		Park et al. (2015)		Dura-travé et al. (2020)		Alpizar et al. (2020)		
	Japon		USA		Angleterre		Corée		Espagne		Mexique		
Age	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	
3	12.7	12.0											
4	12.7	12.0											
5	12.7	12.0			13.2	12.1							
6	12.9	11.9			13.3	12.4					12.5	12.4	
7	12.9	11.9			13.2	12.6					13.0	12.6	
8	12.9	11.9	12.3	11.3	13.1	12.8					13.5	12.9	
9	13.3	13.0	12.5	11.8	13.1	13.1					14.0	13.1	
10	13.3	13.0	12.8	12.4	13.3	13.2	13.1	12.1	13.9	13.5	14.4	13.4	
11	13.3	13.0	13.1	12.9	13.7	13.6	13.7	12.7	14.4	13.9	14.9	13.7	
12			13.6	13.4	14.2	13.9	14.4	13.2	14.8	14.3	15.4	13.9	
13			14.3	13.8	14.9	14.4	15.2	13.6	15.3	14.2	15.9	14.2	
14			15.2	14.1	15.8	14.8	16.0	13.7	15.5	14.9	16.3	14.4	
15			16.2	14.3	16.6	15.1	16.5	13.7			16.8	14.7	
16			16.9	14.4	17.3	15.3	16.8	13.8			17.3	14.9	
17			17.4	14.5	17.9	15.3	17.0	13.8			17.8	15.2	
18			17.7	14.7	18.4	15.4	17.2	13.8			18.3	15.4	
19			18.0	14.8	18.7	15.4	17.6	13.9			18.7	15.7	
20			18.1	15.0	19.1	15.3							

Valeurs médianes d'IMG (kg.m ²)													
3	2.8	3.2											
4	2.8	3.2											
5	2.8	3.2			2.8	3.3							
6	2.8	3.3			2.6	3.5					2.8	2.9	
7	2.8	3.3			2.4	3.8					2.5	2.8	
8	2.8	3.3	4.6	5.1	2.5	4.0					2.2	2.8	
9	3.6	3.8	4.7	5.6	2.9	4.2					2.0	3.0	
10	3.6	3.8	4.8	5.9	3.4	4.5	5.1	5.2	4.3	5.3	2.0	3.2	
11	3.6	3.8	4.8	6.2	3.5	4.7	5.0	5.4	4.2	5.5	2.0	3.5	
12			4.9	6.4	3.4	4.9	4.8	5.6	4.1	5.2	2.1	4.1	
13			4.9	6.6	3.2	5.1	4.5	6.0	4.1	5.9	2.3	4.6	

Suite du tableau 8

14		4.9	6.8	3,0	5.3	4.1	6.3	4.6	6.5	2.6	5.2
15		4.9	7.1	2.9	5.5	4.0	6.6			3.0	5.5
16		4.9	7.4	2.8	5.7	4.0	6.8			3.2	5.8
17		4.9	7.7	2.9	5.9	4.1	6.8			3.3	5.8
18		5.0	8.0	3.1	6.1	4.1	6.7			3.4	5.9
19		5.1	8.3	3.5	6.2	4.1	6.5			3.5	5.7
20		5.3	8.6	4.0	6.4						

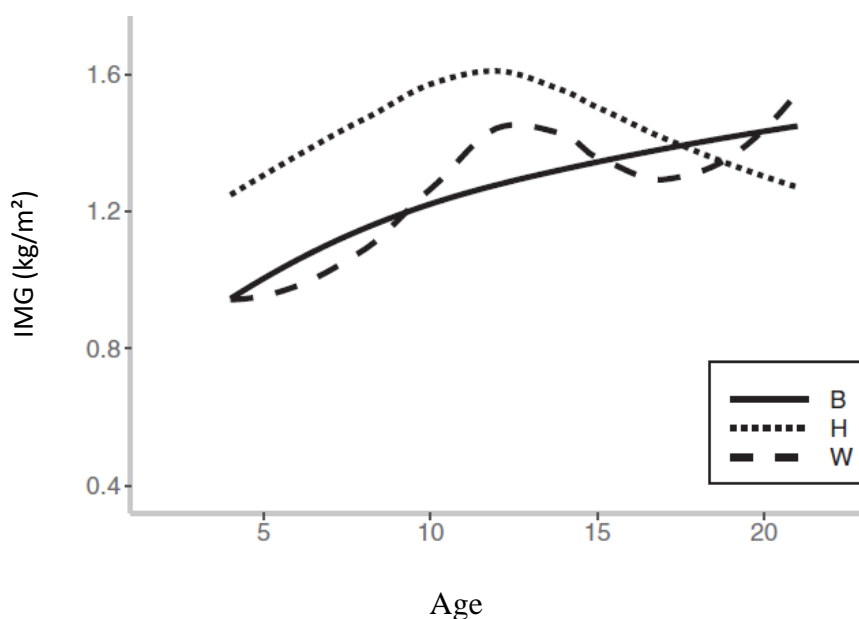
Lorsque ces données sont projetées graphiquement, les tendances des courbes d'IMG et d'IMM (figure 15) sont également semblables à celles de Freedman et al. (2005).



Note : IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse.

Figure 15. Courbes d'IMG et d'IMM chez le garçon (bleu) et la fille (rose) entre 3 et 20 ans.

Il peut être fait plusieurs observations à partir de ces valeurs et courbes issues de la littérature. Premièrement, l'IMM est la composante la plus importante de l'IMC, et représente entre 3 et 5 fois la valeur de l'IMG (Demerath et al., 2006). Deuxièmement, l'IMC et l'IMM augmentent conjointement tout au long de la puberté dans les deux sexes, même si l'augmentation de l'IMM chez le garçon est plus marquée. Enfin, bien que l'IMC augmente durant la puberté, l'IMG diminue notablement chez le garçon, alors qu'il augmente chez la fille. Cette différenciation entre sexe vient s'accroître autour de 12-13 ans, et se conjugue avec l'accélération du gain de masse maigre chez le garçon. Très récemment, les travaux de Shypailo et Wong (2020) mettent en évidence que l'ethnie doit être considérée lorsque l'on est amené à comparer des enfants de même âge et sexe pour ces indices. En effet, ces auteurs ont observé une différence significative des valeurs moyennes d'IMM et d'IMG entre les jeunes afro-américains et les autres ethnies (latino-américains et blancs) au sein d'une jeune population américaine (figure 16).

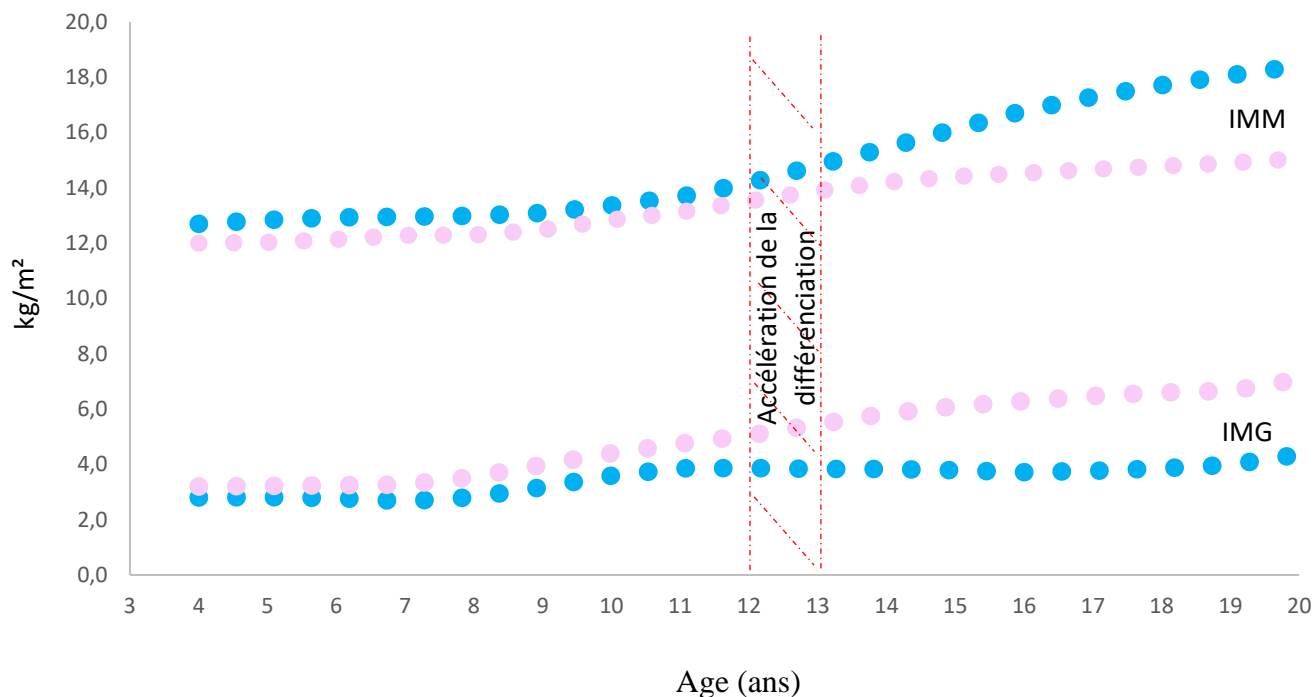


Note : W : Blancs non latino-américains ; H : Latino-américains ; B : Afro-américains.

Figure 16. Pattern d'IMG chez le garçon Américain en fonction de son origine ethnique (Shypailo et Wong, 2020).

A partir de l'ensemble de ces éléments de la littérature scientifique, une modélisation de l'évolution d'IMG et d'IMM au cours du développement de l'enfant est présentée figure 17.

Ces courbes représentent les tendances moyennes mobiles tracées à partir des moyennes des valeurs médianes des études mentionnées dans cette partie.



Note : IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse.

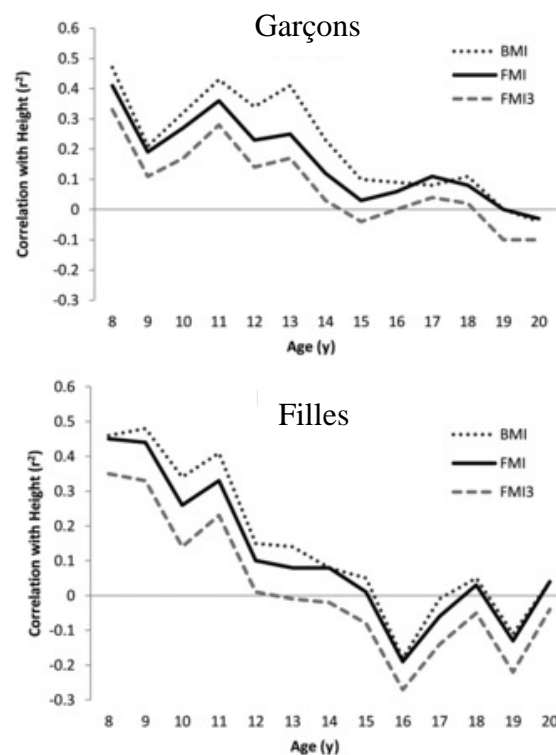
Figure 17. Modélisation de l'évolution d'IMG et d'IMM chez le garçon (bleu) et la fille (rose) de 3 à 20 ans.

a) L'indice de masse grasse comme indicateur diagnostic de l'obésité

L'indice de masse grasse est préconisé comme un indicateur en capacité d'apprécier le bon niveau d'adiposité. Cependant en raison des changements des proportions corporelles et de la composition corporelle pendant la croissance, il reste très difficile de définir une valeur unique et optimale de l'exposant (p) qu'il conviendrait de retenir, afin que l'indice de masse grasse soit réellement indépendant de la taille à tous les âges (Weber et al., 2013).

$$\text{Indice de masse grasse} = \text{masse grasse (kg)} / \text{taille}^p$$

Il semble *a priori* qu'appliquer une seule et même valeur de p ne conviendrait pas, et ne pourrait pas éliminer la corrélation de la taille avec l'indice de masse grasse à tous les âges. Weber et al. (2013) démontrent qu'à partir d'un $p = 2$ ou égal à 3 tel que le préconisent aussi Burton et al. (2007), l'indice de masse grasse semble se comporter comme l'IMC. Une corrélation avec la taille plus ou moins importante selon l'âge de l'enfant et son genre est ainsi observée (figure 18), avec une tendance à être les plus élevées au cours de la poussée de croissance, et les plus faibles à la fin de l'adolescence. Bien que la corrélation avec la taille soit plus faible lorsque l'on vient à appliquer un $p = 3$, son utilisation n'élimine pas la corrélation positive avec la taille observée chez les enfants les plus jeunes, et peut entraîner une corrélation négative chez les enfants plus âgés.



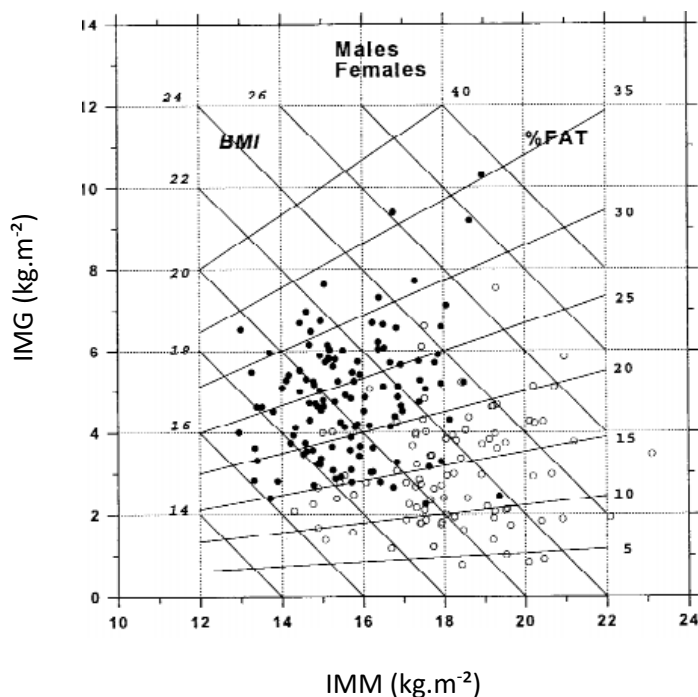
Note : BMI : indice de masse corporelle ; FMI : indice de masse grasse ; FMI3 : indice de masse grasse au cube.

Figure 18. Corrélations entre la taille et les indices de masse corporelle (IMC), de masse grasse (IMG) et de masse grasse au cube (IMG3, $p=3$) chez le garçon et la fille.

L'IMG semble présenter une sensibilité plus élevée que l'IMC, c'est-à-dire qu'il détecte mieux les personnes obèses. Samadi et al. (2013) ont en effet observé chez une jeune population de filles une sensibilité de l'IMG relativement élevée. Dans cette étude, 79 % des jeunes filles détectées comme obèse par l'IMG l'étaient aussi par l'IMC, et à l'inverse, 21 % des filles caractérisées de non-obèse par l'IMG étaient considérées obèses par l'IMC. Eto et al. (2004) ont constaté une grande variabilité de la sensibilité de l'IMG chez de plus jeunes enfants (3-5 ans), mais néanmoins supérieure à celle de l'IMC (42,9–68,8 % vs 30,4–37,5 %). De nos jours, du fait de sa sensibilité supérieure en grande partie liée à son indépendance à la masse maigre, l'IMG est considéré comme un meilleur indice dans une visée diagnostique de l'obésité (Schutz et al., 2002 ; Pereira da Silva et al., 2016).

b) Le modèle Hattori

Le modèle Hattori (1991) de première génération est un graphique en deux dimensions sur lequel sont projetées en ordonnée les valeurs d'IMG ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), et en abscisse celles d'IMM ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Ce modèle donne ainsi une visualisation simple, quantitative, et simultanée des deux compartiments corporels, masses grasse et maigre normalisées à la taille. Ce modèle revisité en 1997 par le même auteur a donné lieu à l'ajout de deux nouvelles lignes diagonales supplémentaires, celle de l'IMC ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$), et celle du % MG, fournissant ainsi 4 indices simultanément (figure 19). La relation entre le % MG, l'IMG et l'IMM est exprimée de la façon suivante : $\% \text{ MG} = \text{IMG} / (\text{IMG} + \text{IMM})$.



Note : BMI : IMC ; %FAT : % MG ; males : hommes ; females : femmes ; IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse.

Figure 19. Présentation graphique de la composition corporelle d'une population adulte mixte à partir du modèle graphique Hattori révisité, incluant les indices de masse grasse (IMG), de masse maigre (IMM), de masse corporelle (IMC) et de % MG.

Ce modèle a permis d'envisager une interprétation de l'évolution de la composition corporelle autrement que par les courbes de l'IMC chez l'enfant. Il présente plusieurs finalités : a) étudier la nature du gain de masse corporelle indépendamment de la taille au cours de la croissance, b) appréhender la variabilité transversale des 4 indices susvisés pour un même âge selon le genre, et en fonction de la spécificité de la population étudiée, c) catégoriser la population étudiée en différents morphotypes. Pour ce dernier point, Hattori et al. (1991) ont déterminé deux seuils basés sur leur valeur moyenne plus ou moins un écart-type pour chacun des indices principaux (IMG et IMM) afin de créer ainsi 3 subdivisions (IMG : maigre, intermédiaire et gras ; IMM : atrophique, intermédiaire et musclé). Cela revient par conséquent à créer neuf subdivisions sur l'ensemble du modèle graphique. L'idée d'Hattori et al. (1991) était de mettre en exergue quatre atypicités morphologiques, bien différenciés et remarquables (extrêmes), ayant pour terminologie anglaise, « adipo-solid », « lean-solid », « adipo-slender » and « lean-slender » (figure 20). Selon ces auteurs, ce modèle faciliterait la détection des obésités dites « cachées »,

correspondant à une personne d'IMC normal ayant un excès de masse grasse compensé par une atrophie du tissu maigre, appelées plus communément « obésités sarcopéniques » (adipo-slender).

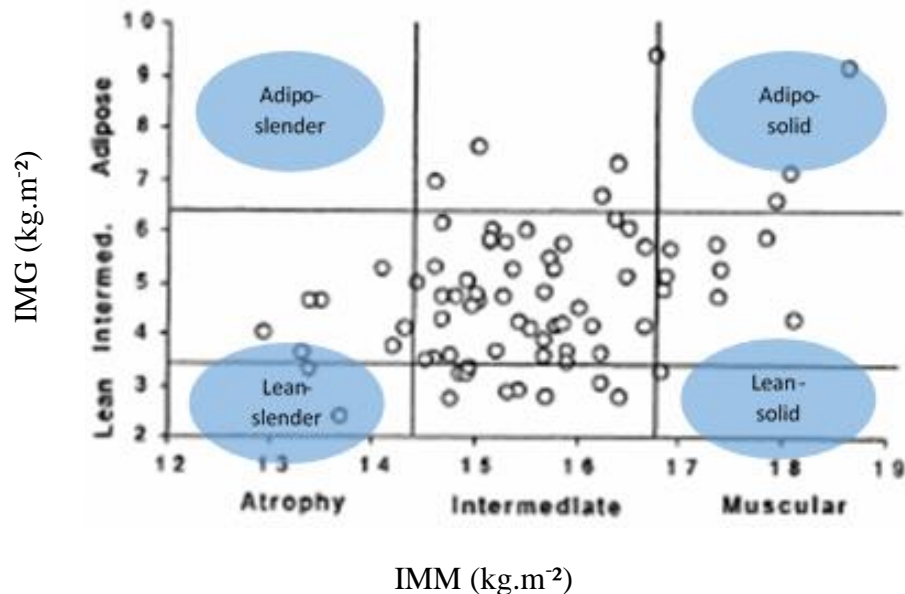
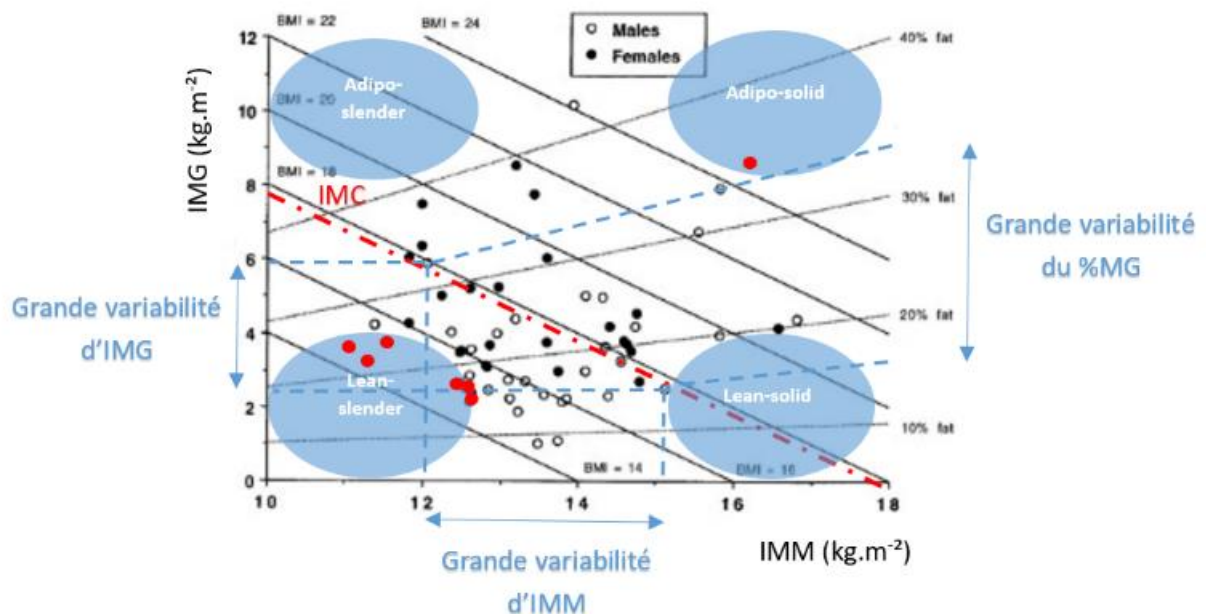


Figure 20. Classification d'IMG et d'IMM en 3 sous groupes d'une jeune population de garçon depuis le modèle Hattori (Hattori et al., 1991).

Wells et al. (2000) ont étudié le développement de la composition corporelle au travers de l'évolution des deux tissus maigre et gras au cours de la croissance à partir du modèle Hattori. Quatre principales observations sont ressorties de cette étude : a) la croissance affecte différemment l'évolution des deux tissus, b) le « pattern » IMG/IMC est spécifique à chaque sexe, c) une grande variabilité intra-individuelle des quatre indices est observée, d) des atypicités morphologiques sont mises en évidence. Plus précisément, la diminution de l'IMC chez le garçon entre 1 et 6 ans est entièrement liée à une diminution de l'IMG, alors que son augmentation entre 6 et 10 ans est essentiellement liée à une augmentation de l'IMM. Chez la fille, la diminution de l'IMC sur la période de la petite enfance est liée à la diminution concomitante de l'IMG (moins marquée que chez le garçon) et de l'IMM. Puis au cours de l'enfance (5-10 ans), la diminution de l'IMG est moins marquée chez la fille que chez le garçon et montre notamment une augmentation concomitante de l'IMG et de l'IMM. S'agissant de la variabilité des quatre indices, ces auteurs montrent une grande variabilité d'IMM, d'IMG et du

pourcentage de masse grasse pour un même IMC dans une même classe d'âge (8-12 ans ; figure 21).



Note : BMI : IMC ; %fat : % MG, IMG : indice de masse grasse ; IMM : indice de masse maigre ; males : garçons ; females : filles ; ● atypicités morphologiques.

Figure 21. Illustration de la variabilité des indices de masse grasse (IMG), de masse maigre (IMM) et de pourcentage de masse grasse (% MG) pour un même indice de masse corporelle (IMC) et des hypothétiques atypicités morphologiques chez les 8-12 ans à partir de l'étude de Wells (2000).

C. Morphotypes

1. Somatotype de Carter et Heath (1990)

En 1940, Sheldon W. propose 3 composants somatotypiques établis en fonction de la forme du corps et de la constitution physique (figure 22, A) :

- Endomorphie (faisant référence à l'embonpoint)
- Mésomorphie (faisant référence à la robustesse musculo-squelettique du corps)
- Ectomorphie (faisant référence à la forme longiligne du corps)

Plus tard, Heath et Carter (1967) développeront une adaptation graphique (figure 22, B) ainsi qu'une méthode de calcul (Carter, 2002) permettant une projection bidimensionnelle simultanée de ces 3 composants à partir de caractères morphométriques.

La méthode permet ainsi de calculer le niveau de chaque composante somatotypique, à l'aide des trois équations suivantes :

$$\text{Endomorphe} = -0,7182 + 0,1451 (X) - 0,00068 (X^2) + 0,0000014 (X^3)$$

$$\text{Mésomorphe} = (0,858 \text{ HB} + 0,601 \text{ FB} + 0,188 \text{ CAG} + 0,161 \text{ CCG}) - (0,131 \text{ H}) + 4,5$$

Ectomorphe :

$$\text{Si } HWR \geq 40,75, \text{ ectomorphe} = 0,732 \text{ HWR} - 28,58$$

$$\text{Si } HWR < 40,75 \text{ et } > 38,25, \text{ ectomorphe} = 0,463 \text{ HWR} - 17,63$$

$$\text{Si } HWR \leq 38,25, \text{ ectomorphe} = 0,1 \text{ (ou enregistré comme } \frac{1}{2}\text{)}$$

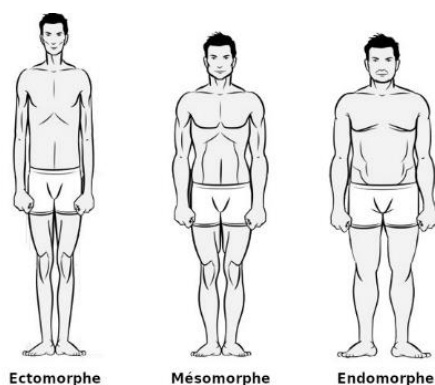
Avec $X = (\text{somme des plis du triceps, subscapulaire et susiliaque}) \times (170,18 / \text{taille (en cm)})$;
HB : largeur de l'humérus, *FB* : largeur du fémur, *CAG* : circonférence du bras, *CCG* : circonférence des mollets, *H* taille ; $HWR = \text{ratio de la taille / la masse corporelle}^3$.

Chaque composante somatotypique est alors scorée, une valeur faible est considérée de 0,5 à 2,5 ; modérée de 3,0 à élevée de 5,5 à 7,0. Le somatotype est alors exprimé par une côte à trois nombres représentant l'endomorphie, la mésomorphie et l'ectomorphie, toujours dans le même ordre. Ces composantes peuvent être projetées sur un somato-graphique en 2 dimensions (figure 30 B) à partir des valeurs de X et de Y suivantes :

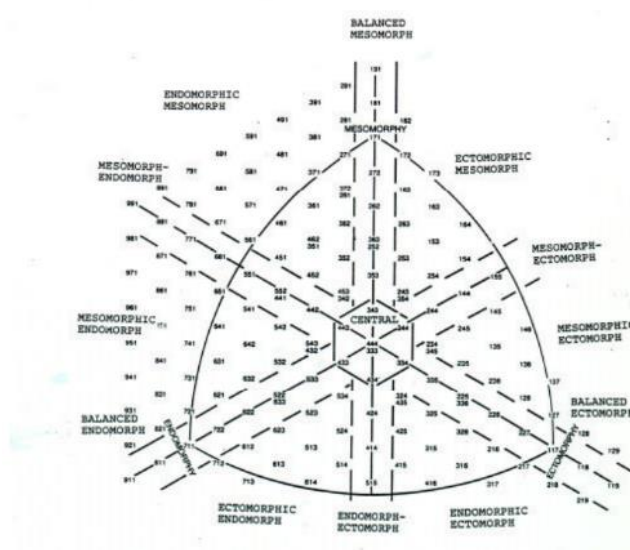
$$\text{X-coordonnée} = \text{ectomorphe} - \text{endomorphe}$$

$$\text{Y-coordonnée} = 2 * \text{mésomorphe} - (\text{endomorphe} + \text{ectomorphe})$$

Cette même méthode propose également de classer ces somatotypes en sept catégories différentes (figure 22 B) : central, endomorphe, endo-mésomorphe, mésomorphe, méso-ectomorphe, ectomorphe et ecto-endomorphe, ainsi que d'autres niveaux d'analyse statistique qui ne sont pas développés dans cette revue de la littérature.



A

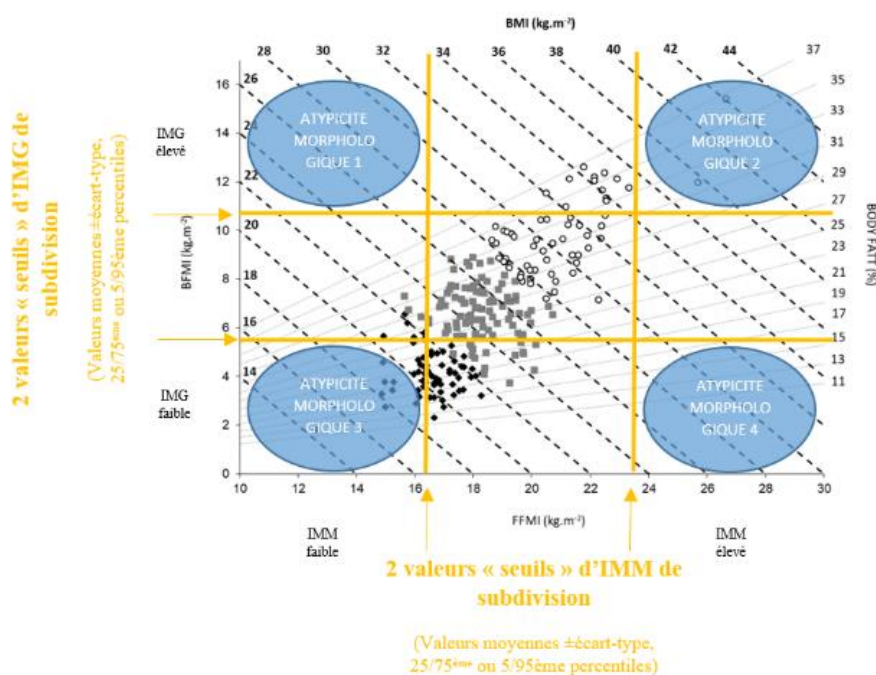


B

Figure 22. Somatotypes (A) selon la classification décrite par Sheldon et al., 1940 et le somato-graphique (B) par Carter et Heath, 1990.

2. Morphotype depuis le modèle Hattori

A l'instar de la méthode de Heath et Carter (1967), certains auteurs ont également identifié différents morphotypes en fonction de la combinaison d'IMG et d'IMM depuis le modèle Hattori. Ces auteurs ont proposé, comme avaient pu le faire Hattori et al. (1991), différents seuils d'IMG et d'IMM afin de subdiviser la population en neuf groupes et d'identifier quatre morphotypes remarquables (figure 23).



Note : BFMI : indice de masse grasse ; FFMI : indice de masse maigre ; BMI : indice de masse corporelle, Body fat : % MG.

Figure 23. Modélisation de l'identification des morphotypes à partir du modèle Hattori.

Ces auteurs ont proposé ainsi d'autres valeurs « seuil » de référence dans le but toujours d'identifier des groupes de morphologies différentes au sein d'une même population, et cela toujours selon le même modèle d'identification (figure 36). Schutz et al. (2002) proposent l'identification de quatre situations morphologiques extrêmes à partir des seuils du 5^{ème} et 95^{ème} percentile d'IMG et d'IMM : obésité sarcopénique (IMG > 95^{ème} percentile et IMM < 5^{ème} percentile), anorexie (IMG et IMM < 5^{ème} percentile), hypertrophie musculaire (IMG < 5^{ème} percentile et IMM > 95^{ème} percentile), et enfin le morphotype « Sumo » (IMG et IMM > 95^{ème} percentile). Etant donné que ces mêmes auteurs constatent que les 25^{ème} et 75^{ème} percentiles d'IMG et d'IMM correspondent respectivement à un IMC de 20 kg.m⁻² et de 25 kg.m⁻², et donc à des valeurs de corpulence « normal », Nakao et al. (2003) présentent ces valeurs de percentiles comme les seuils « normaux » d'IMG et d'IMM afin de subdiviser en particulier une population d'enfants (tableau 9).

Tableau 9 : Classification des morphotypes, chez l'enfant à partir des combinaisons IMG/IMM, adaptée de Schutz et al, 2002 et Nakao et al. 2003.

Combinaison IMG/IMM		Morphotype
IMG élevé	IMM faible	Obèse
IMG faible	IMM faible	Maigre
IMG faible	IMM élevé	Musculeux
IMG élevé	IMM élevé	Musculeux et gras

Note : valeur faible : 25^{ème} percentile ; valeur élevée = 75^{ème} percentile.

3. Combinaison IMG/IMM et co-morbidités

Outre l'intérêt de différencier, classer ou identifier des atypicités dans une population donnée à partir de la projection graphique de la valeur d'IMG et d'IMM, certains auteurs ont pu entrevoir l'intérêt d'associer les combinaisons IMG/IMM avec les risques de co-morbidités/mortalités. Effectivement, les études se sont intéressées à cette combinaison eu égard aux résultats très controversés et observés chez l'adulte lors de l'utilisation de l'IMC comme mesure des risques associés à l'obésité (Fregal et al., 2013). Des relations en « U » ou en « J » entre l'IMC et le taux de mortalité ont été présentées de telle sorte que les individus ayant les IMC les plus bas et les plus élevés ont les taux de mortalité les plus élevés et que les individus de corpulence intermédiaire ont les taux de mortalité les plus bas (Allison et al., 2002). Mooney et al. (2013), ont indiqué qu'aussi bien l'IMG que l'IMM semblaient positivement associés aux différentes composantes du syndrome métabolique, considéré comme un facteur de co-morbidité. Ces auteurs ont de même avancé des effets « tissu dépendant » sur le risque de mortalité. Bigaard et al. (2004) ont par exemple présenté des courbes en forme de J et de J inversé entre l'IMG et l'IMM respectivement et les causes de mortalité. Ces auteurs évoquent ainsi que l'IMG élevé ou l'IMM faible sont des prédicteurs indépendants de la mortalité chez l'homme et la femme. Plus récemment, Sørensen et al. (2020), à partir d'un large échantillon danois (homme/femme), confirment la courbe en forme de « U » caractérisant l'association entre l'IMC et la mortalité sur du long terme. Ces auteurs observent une association positive de l'IMG et négative de l'IMM avec les causes de mortalité, avec un Hazard Ratio (HR) significativement élevé (>2) en-deçà du 5^{ème} percentile d'IMM et au-delà du 95^{ème} percentile d'IMG de cette même population.

La littérature scientifique est rare chez l'enfant et l'adolescent dans ce domaine. Park et al. (2012) ont montré que la combinaison d'un IMG élevé et d'un IMM faible pouvait être associée à une insuffisance de sécrétion insulinaire, et *in fine* à des perturbations métaboliques chez des adolescents diabétiques de type 2. Ces mêmes auteurs suggèrent l'utilisation des percentiles d'IMG et d'IMM chez l'adolescent afin d'évaluer ce risque précisément. A partir d'un échantillon plus conséquent, De Oliveira et al. (2015) décrivent une relation positive forte entre l'IMG et le risque cardiovasculaire, alors qu'il n'apparaît pas d'association évidente avec l'IMM. D'une manière tout autant singulière, bien que l'IMC, l'IMG et l'IMM soient corrélés positivement à la pression artérielle (facteur de risque cardiovasculaire). He et al. (2021) montrent que l'association avec l'IMM semble être la plus forte chez l'enfant et l'adolescent. L'association de la combinaison IMG/IMM en relation avec des causes de mortalité nécessite d'être explorée chez l'enfant et l'adolescent. Ces premières études invitent la communauté scientifique à considérer une évaluation précise de la composition corporelle, dans le but d'apprécier plus finement l'association entre la corpulence, l'excès d'adiposité précoce, et les complications associées ou encore le risque de mortalité à l'âge adulte.

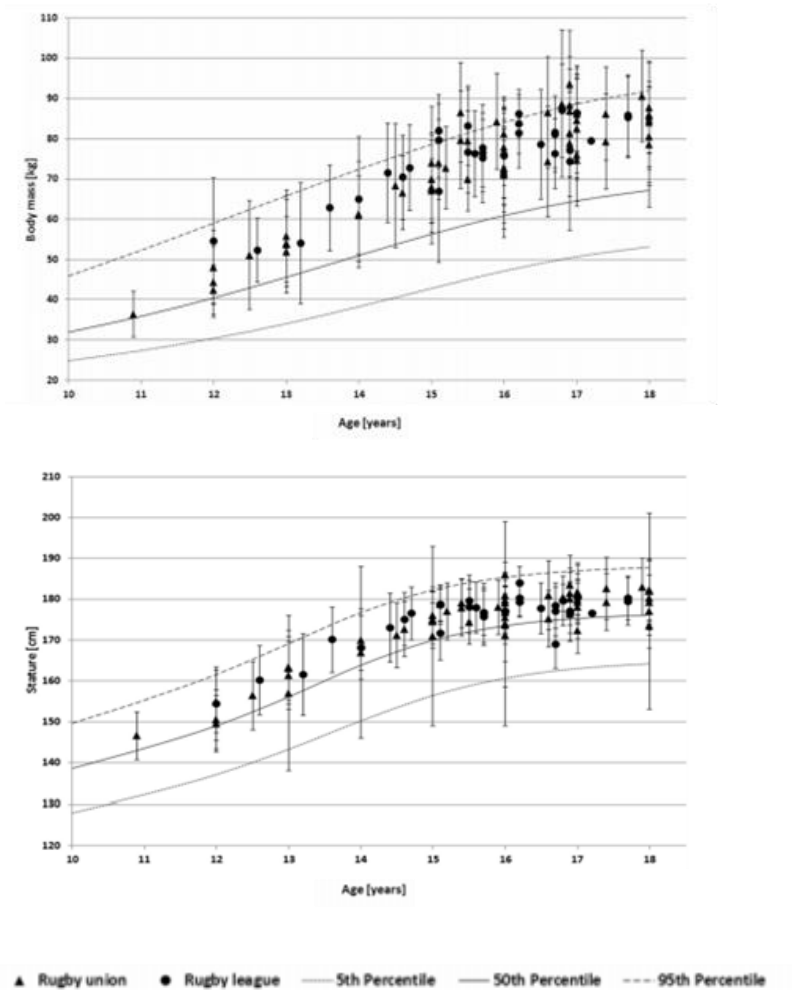
L'IMC est un outil simple d'usage, cependant contesté dans sa capacité à dépister un excès d'adiposité chez un enfant ou un adolescent. L'évaluation de la masse grasse et de la masse maigre normalisées à la taille (IMG et IMM ; kg.m^{-2}), composantes de l'IMC ($\text{IMC} = \text{IMG} + \text{IMM}$), représente une alternative. Le modèle graphique multidimensionnel développé par Hattori (1991 ; 1997) permet une visualisation simple, quantitative, et simultanée de ces deux indices de composition corporelle, associés au % MG et à l'IMC. Dans cette logique interventionnelle, une attention toute particulière doit être portée s'agissant de la dépendance multifactorielle de l'évolution de la composition corporelle tout au long de la période de croissance. Cette considération est d'autant plus importante lorsque l'enjeu est d'effectuer un dépistage dans un sport comme le rugby, réunissant pour une même catégorie des niveaux de maturation, de croissance, de motricité et d'aptitudes physiques très variables. L'utilisation de ce modèle dans l'interprétation morphologique des jeunes sportifs permettrait d'apporter de nouvelles références pour caractériser l'excès de masse grasse, de détecter des obésités dites cachées (IMC normal avec IMG élevé et un IMM faible), et d'établir à une meilleure classification des jeunes joueurs selon des morphotypes atypiques extrêmes (« adipo-solid », « lean-solid », « adipo-slender » and « lean-slender ») dans une visée prophylactique et de performance.

IV. Les caractéristiques anthropométriques des jeunes joueurs de rugby

Les données issues du rugby à 13 (Rugby league) et du rugby à 15 (Rugby union) ont été prises en considération, en raison de la similitude de ces deux pratiques sportives et dans un souci d'exhaustivité.

A. Masse corporelle et taille

A partir des données anthropométriques disponibles dans la littérature, Patton et al. (2016) observent sur le plan international que les jeunes joueurs de rugby (tableau 11) sont plus grands et plus lourds comparés à la population de référence (Centers for Disease Control and Prevention, 2000). Les valeurs de masse corporelle et de taille des joueurs de rugby sont quasiment à tout âge au-dessus du 50^{ème} percentile des valeurs normatives, et se rapprochent des valeurs du 95^{ème} percentile à partir de l'âge de 15 ans, voire au dessus concernant la masse corporelle (figure 24).



Note : body mass : masse corporelle ; stature : taille.

Figure 24. Comparaison des données de taille (droite) et de masse corporelle (gauche) entre jeunes joueurs de rugby et la population de référence (Patton et al., 2016).

Par ailleurs, ces valeurs sont plus élevées au plus haut niveau de pratique (élite), ainsi que chez les « avants » comparativement aux « arrières », même si leur interprétation peut être biaisée par les différents programmes de sélection mis en œuvre selon les nations et les âges. A haut niveau de pratique, la taille pourrait être un critère facilitant la sélection des jeunes joueurs (Till et al., 2017). Cependant, la taille et la masse corporelle ne semblent pas être à l'âge de la période pubertaire (13-15 ans) un gage de réussite rugbytisque future, contrairement à un âge plus avancé lors de la période post-pubère (16-19 ans).

B. Indice de masse corporelle

Lorsque les données recueillies par Patton et al. (2016) viennent à être compilées afin de présenter une valeur moyenne du poids et de la taille pour chacune des catégories d'âge, cette population présente une corpulence moyenne élevée à tous les âges (figure 25), comparée aux données de références internationales (IOTF, 2000).

A

AGE	POIDS	ECART-TYPE	TAILLE	ECART-TYPE	IMC
U12	51,3	12,4	1,55	8,3	21,4
U13	52,5	10,7	1,60	8,2	20,5
U14	62,9	12,0	1,69	7,7	21,9
U15	69,6	11,3	1,74	15,0	22,9
U16	76,6	10,4	1,77	5,9	24,4
U17	83,6	11,0	1,80	5,8	25,9
U18	85,5	11,3	1,8	6,6	26,3



B

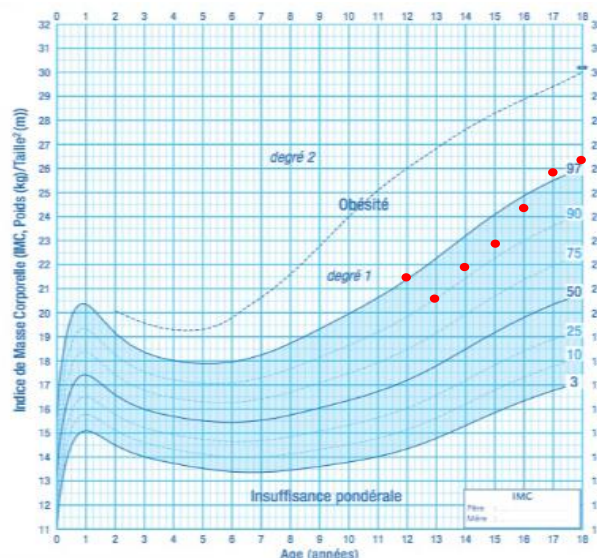


Figure 25. Valeurs moyennes de la taille et de la masse corporelle en fonction de l'âge des jeunes joueurs de rugby (A) et projection des IMC (B) sur les courbes de corpulence IOTF (à partir des données recueillies par Patton et al., 2016).

C. Adiposité et masse grasse chez le jeune joueur de rugby

Le niveau d'adiposité, évalué dans la majorité des études par la somme des plis cutanés, ne diffère pas significativement entre les catégories d'âge chez le jeune joueur de rugby (Gabbett et al., 2008 ; Till et al., 2017 ; Till et al., 2010 ; Till et al., 2014 ; Waldron et al., 2014 ; Darrall-Jones et al., 2015). Cependant Till et al. (2014) observent une grande variabilité interindividuelle traduite par une étendue importante de la somme des 4 plis avec une différence entre la valeur maximale et minimale de l'ordre de 55 mm (étendue : 18-73 mm). Dans une approche préventive, ces auteurs proposent deux seuils maximaux à ne pas dépasser : 30 mm pour les « arrières » et 40 mm pour les « avants ». Néanmoins, le niveau d'adiposité se différencie en fonction du niveau de pratique et du poste occupé. Effectivement, plus le niveau

de pratique du jeune joueur est élevé, plus la somme des plis cutanés est faible (Gabbett et al., 2010). D'autre part, la somme des 7 plis cutanés est significativement supérieure chez les « avants » comparativement aux « arrières » (Cheng et al., 2014). Les données de Delahunt et al. (2013) présentent des résultats similaires chez de jeunes joueurs de 16-18 ans de rugby à 15. Cheng et al. (2014), Delahunt et al. (2013) et Durandt et al. (2006) trouvent respectivement des valeurs moyennes de 16, 18, et 16 % MG chez les « avants » et de 12, 14 et 13 % MG chez les « arrières ». Une variation du niveau d'adiposité au cours de la saison sportive chez le joueur de rugby de catégorie « junior » est observée, en fonction de la charge et du type d'entraînement, et de l'hygiène alimentaire (Gabbett et al., 2005), nécessitant ainsi une surveillance toute particulière au cours de la saison sportive (Till et al., 2017). A des niveaux élevés de pratique, un niveau d'adiposité faible semble prédire à l'âge adulte de meilleures performances au rugby (Gabbett et al., 2011). De plus, un faible niveau d'adiposité à l'âge de la période pubertaire (13-15 ans) représenterait un gage de réussite rugbystique future (Till et al., 2015). Le tableau 10 présente un exemple d'analyse de la composition corporelle en fonction des différents postes sur le terrain.

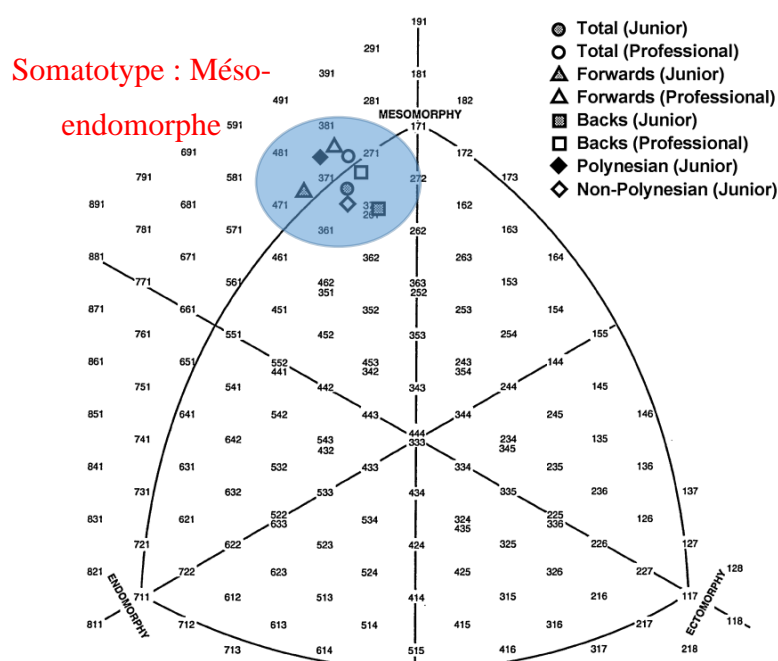
Tableau 10 : Illustration des valeurs de masse grasse et de masse maigre chez des juniors (16-18 ans) de rugby à 15 en fonction des postes de jeu (Delahunt et al., 2013).

Dependent variable	Position	Mean	SD									
				Prop, n = 16	Hooker, n = 13	Second row, n = 19	Back row, n = 24	Scrum half, n = 14	Out half, n = 9	Centre, n = 16	Back 3, n = 25	
Body mass, kg	Forward	83.63	10.53									
	Back	73.65	6.61									
Height, m	Forward	1.82	7.11									
	Back	1.78	5.63									
Body fat, %	Forward	18.46	5.91	Body mass, kg	92.45	81.22	84.91	78.06	69.40	75.48	78.18	72.46
	Back	14.34	3.08	Height, m	1.81	1.76	1.89	1.79	1.75	1.79	1.81	1.78
Fat mass, kg	Forward	15.21	6.47	Body fat, %	24.46	19.73	17.03	15.01	14.38	17.83	14.90	12.71
	Back	10.18	2.55	Fat mass, kg	22.18	15.60	13.84	11.44	9.60	13.02	11.15	8.86
Lean mass, kg	Forward	65.09	6.77	Lean mass, kg	67.29	62.64	67.53	63.00	57.02	59.40	63.97	60.66
	Back	60.51	5.36	Fat-free mass, kg	69.98	65.93	70.66	66.44	60.04	62.62	67.35	63.82
Fat-free mass, kg	Forward	68.25	6.92									
	Back	63.71	5.61									

Note : body mass : masse corporelle ; height : taille ; body fat % : pourcentage de masse grasse ; fat mass : masse grasse en valeur absolue ; lean mass : masse maigre ; fat-free mass : masse musculaire ; forward : avant ; back : arrière ; prop : pilier ; hooker : talonneur ; second row : 2^{ème} ligne ; back row : 3^{ème} ligne ; scrum half : demi-mêlée ; out half : avant centre ; centre : centre.

D. Les somatotypes

Très peu d'études récentes ont classé spécifiquement les jeunes joueurs de rugby selon leurs caractéristiques anthropométriques. A notre connaissance, l'étude de Cheng et al. (2014) semble être la seule à proposer un somatotype à partir d'une population incluant des joueurs de rugby de catégorie « junior ». Ainsi à partir de la méthode de Carter (2002), ces auteurs représentent graphiquement le classement du joueur de rugby dans le somatotype méso-endomorphe, quelque soit sa position de jeu, son niveau de pratique, son origine ethnique et son âge (figure 26).



Note : *forward* : avant ; *back* : arrière.

Figure 26. Somatotype des joueurs de rugby (Cheng et al., 2014).

E. L'héritage génétique

L'origine ethnique a une influence sur les caractéristiques anthropométriques. Dans une population de joueurs de rugby australiens de catégorie « junior », Cheng et al. (2014) ont mis en évidence des différences anthropométriques significatives entre les joueurs d'origine polynésienne et non polynésienne. Les joueurs d'origine polynésienne étaient plus grands et plus lourds et de somatotype plus mésomorphe. Ce constat peut être en partie expliqué par des maturations plus précoces dans certaines ethnies, comme ont pu le démontrer Petelo et al.

(2011) pour les enfants d'origine polynésienne. A notre connaissance les données de la littérature sur le sujet chez le jeune joueur de rugby sont très rares.

Peu de données spécifiques aux caractéristiques anthropométriques des jeunes joueurs de rugby sont disponibles dans la littérature scientifique. Par ailleurs, la période pubertaire (10-15 ans), durant laquelle la maturation et la croissance influencent la composition corporelle, est peu explorée. L'ensemble des études est basé sur des critères anthropométriques limités, centrés essentiellement sur la masse corporelle et la masse grasse, sans intégrer notamment les critères de masse maigre, importante pour le développement des qualités de force, de puissance et d'explosivité. Ces études sont conduites sur des échantillons de petite taille, et auprès de joueurs de bon niveau. Le niveau d'adiposité, évalué dans la majorité des études par la somme des plis cutanés, présente une grande variabilité inter-individuelle (étendue somme des 4 plis : 18-73 mm), sans différence significative entre les catégories d'âge. Le % MG est plus élevé (16-18 %) chez les « avants » que chez les « arrières » (12-14 %). A des niveaux élevés de pratique, un niveau d'adiposité faible à la période pubertaire est prédictif de la réussite rugbystique à l'âge adulte. Le somatotype du joueur de rugby adolescent est de type méso-endomorphe. Le risque de blessures associé à la grande variabilité des morphotypes dans une même catégorie d'âge amène la communauté scientifique et encadrante à se questionner sur des modèles de catégorisation autre que celui de l'âge chronologique.

V. Les différents modèles de classification des jeunes joueurs

A. La catégorisation par l'âge chronologique

Dans la plupart des pratiques sportives, l'âge chronologique est traditionnellement utilisé pour catégoriser les jeunes sportifs d'une même classe d'âge, à l'entraînement et en compétition. Cette modalité fait aussi cadre de référence dans les procédures relatives à la détection de talent, ou encore dans les recommandations de bonne pratique s'agissant de la prescription des exercices physiques (intensité, modalité...). Grouper par âge chronologique consiste tout simplement à classer les jeunes joueurs par âge, et plus précisément par rapport au nombre d'années écoulées entre l'année de leur naissance et l'année de la saison sportive donnée. Ce mode de classement ne tient pas compte de l'âge dit relatif, c'est-à-dire celui lié au mois de l'année où l'enfant/l'adolescent est né. Ainsi un enfant né en janvier est en général dans la même catégorie d'âge qu'un autre né en décembre de la même année. Ces catégories d'âge peuvent être composées d'une année ou de deux années consécutives, voire trois et plus en fonction du « découpage chronologique » réalisé depuis la première année autorisée de la pratique jusqu'à l'âge adulte. Ce découpage est généralement spécifique à chaque sport et chaque pays, selon la politique menée par chaque fédération dont les enjeux et problématiques sont multiples (sécuritaire, d'attractivité, organisationnelle...). Cependant, à l'instar du modèle de la Fédération Française de rugby, cette catégorisation est rarement basée sur un découpage strict par âge chronologique, et laisse la place à quelques adaptations en fonction du niveau de pratique et de certains âges charnières.

1. La classification par âge chronologique de la Fédération Française de Rugby (F.F.R)

Le modèle de catégorisation des jeunes joueurs de rugby français est basé sur le principe d'une classification en fonction de l'âge chronologique comme décrit plus haut. Ainsi, au moment de son affiliation, une classe d'âge sera attribuée au jeune joueur pour toute la durée de la saison sportive, conformément à l'article 239 – titre II « Gestion des associations et des membres de la FFR » des règlements généraux fixant le cadre réglementaire relatif à la gestion de la pratique du rugby en France (tableau 11). Chaque catégorie correspond en général à deux années civiles consécutives (les moins de 8 ans, 10 ans, 12 ans, 14 ans, 16 ans) à l'exception des moins de 6 ans, de 19 ans et de 21 ans établies sur trois années, et la catégorie des moins de 23 ans établie sur 6 ans. Nous pouvons néanmoins constater que certaines adaptations ont été apportées au classement de référence organisé par âge chronologique, chez le garçon. Nous pouvons citer

par exemple, des adaptations telles que celles inhérentes à la notion de l'âge relatif (*ex* : pour les moins de 6 ans, l'âge révolu à une date précise est de vigueur), en fonction de l'âge chronologique (*ex* : les moins de 19 ans ou encore les moins de 6 ans sont des catégories composées de 3 années *versus* 2 années pour les autres), et enfin par rapport au niveau de compétition, notamment à partir des moins de 16 ans (*ex* : les adolescents de 16 ans ne peuvent pas concourir en élite Gaudermen alors qu'ils peuvent en élite Alamertery ...).

Tableau 11 : Classification par âge des joueurs de rugby à XV en France (FFR, règlements généraux, 2021-2022).

Classes d'âge Joueurs masculins	Années de naissance concernées Joueurs nés en :	Compétitions	
		Clubs	Sélections
COMPETITION			
18 ans et plus	2003 et antérieurement	Toutes compétitions « seniors »	
	98 à 2003 (23 ans et moins)	ESPOIRS FEDERAUX 1	-
	2001 à 2003 (moins de 21 ans)	REICHEL-ESPOIRS REICHEL ESPOIRS ACCESSION	-
Moins de 19 ans	2003 à 2005	NIVEAU REGIONAL	Inter-secteurs N3 Coupe des Provinces
	2003 (entre le 01/07 et le 31/12)* 2004 et 2005 (moins de 18 ans)	ELITE CRABOS NATIONAL U18	Inter-secteurs N3
Moins de 16 ans	2006 et 2007	ELITE ALAMERCERY NATIONAL U16 NIVEAU REGIONAL	Départementales Inter-départementales
	2007 (moins de 15 ans)	ELITE GAUDERMEN	
ECOLE DE RUGBY - RUGBY EDUCATIF			
Moins de 14 ans	2008 et 2009	MINIMES	
Moins de 12 ans	2010 et 2011	BENJAMINS	
Moins de 10 ans	2012 et 2013	POUSSINS	
Moins de 8 ans	2014 et 2015	JEUNES POUSSÉS	
Moins de 6 ans	5 ans révolus au plus tard le 30 juin 2022	Baby rugby mixte Premiers pas en Ecole de rugby	
	3 ans révolus lors de la demande de licence	Baby rugby mixte	
Classes d'âges Joueuses féminines	Années d'âge concernées Joueuses nées en :	Compétitions	
COMPETITION			
18 ans et plus	2003 et antérieurement	Toutes compétitions « seniors »	
Moins de 18 ans	2003 (entre le 01/07 et le 31/12)** 2004, 2005, 2006	Féminines jeunes moins de 18 ans à XV (niveau 1)	
	2003 (entre le 01/09 et le 31/12) 2004, 2005 et 2006	Féminines jeunes moins de 18 ans à X ou à XV (niveau 2)	
ECOLE DE RUGBY - RUGBY EDUCATIF			
Moins de 15 ans	2007, 2008 et 2009	Minimes (moins de 14 ans) en Ecole de rugby mixte Compétitions départementales féminines	
Moins de 12 ans	2010 et 2011	Benjamines en Ecole de rugby mixte	
Moins de 10 ans	2012 et 2013	Poussines en Ecole de rugby mixte	
Moins de 8 ans	2014 et 2015	Jeunes Pousses en Ecole de rugby mixte	
Moins de 6 ans	5 ans révolus au plus tard le 30 juin 2022	Baby rugby mixte Premiers pas en Ecole de rugby mixte	
	3 ans révolus lors de la demande de licence	Baby rugby mixte	

2. Les classifications à l'international

L'ensemble des pays ont une organisation similaire, c'est à dire basée sur une classification par âge chronologique mais contrairement à la France, certaines nations telles que l'Australie, l'Angleterre, ... réunissent en rugby une seule année civile par catégorie d'âge (U7, U8, U9, ..., U18). Par ailleurs, certaines nations ont une culture différente de celle de la France et laissent des niveaux de flexibilité différents s'agissant du surclassement ou sous-classement des jeunes joueurs.

B. Les sur et sous-classements

Tout comme la France, de nombreux pays ont développé des règles laissant la possibilité d'obtenir des dispenses de participation en dehors des catégories d'âges éligibles, soit en catégorie inférieure et/ou supérieure. Cette possibilité de surclassement ou de sous-classement, appelée par les anglosaxons respectivement « up-grading » or « playing-up » et « down-grading » or « playing-down », est basée sur la considération de facteurs chez le jeune joueur autres que celui de l'âge. Le but en général est d'optimiser l'apprentissage des compétences rugbyistiques au cours du développement physique, psychique et social de l'enfant et ce, de façon sécurisée, et parfois d'adapter la pratique à une contrainte médicale. Les travaux de Till et al. (2008-2010), eu égard à la mise en exergue de la grande variabilité interindividuelle de maturation biologique et de croissance à un âge donné, ont invité les fédérations à intégrer d'autres caractéristiques (anthropométriques, de maturation...) dans leur modèle de classification par l'âge chronologique. L'objectif étant d'éviter d'éventuelles incompatibilités entre les joueurs de même âge, appelées encore par les anglosaxons « mismatches ».

1. En France

Chez les jeunes, le classement en catégorie supérieure n'est en principe pas autorisé, mais il peut l'être exceptionnellement (sauf pour les joueurs de première ligne). Néanmoins, ce choix ne relève pas d'une « simple » décision de l'encadrement sportif de proximité mais nécessite que le Directeur Technique National (DTN) ou son représentant sollicite cette demande, et que le Président du comité médical de la FFR puisse se prononcer après accord de son comité. Ce dernier statue sur cette demande à partir des documents requis conformément à l'article 11 – chapitre II – annexe XIV du règlement médical FFR) :

- Une lettre du club
- Une lettre d'autorisation par les représentants légaux
- Un certificat de non contre-indication, établi par le médecin traitant, à la pratique du rugby en compétition d'âge supérieur précisant la taille et le poids du joueur.

Concernant le sous-classement, il existe une procédure similaire. Néanmoins pour celui-ci, les représentants légaux peuvent en faire la demande uniquement si celle-ci est motivée par un motif médical. Dans le cas d'une pathologie avérée, une explication du médecin traitant est requise. Pour les joueurs de première ligne, ils peuvent faire l'objet d'un tel classement qu'à la condition de ne plus jouer au même poste dans la classe d'âge inférieure.

Outre ces dispositions règlementaires relevant de l'article A.231-1 du code du sport (pour les plus de 12 ans), s'agissant des précisions pour la consultation médicale de non contre-indication (examen de la fonction cardio-respiratoire, du rachis lombaire, du rachis cervical), peu d'éléments semblent faire écho et face aux observations relatives à la grande variabilité physique et psychique de l'enfant courant la phase pubertaire et post-pubère.

Néanmoins, la commission médicale de la FFR intègre dans son plan d'actions et de développement des engagements, laissant entrevoir un certain niveau de sensibilité au problème et une réelle volonté d'agir, notamment au travers des actions suivantes :

- Mener une grande étude épidémiologique pour recenser tous les événements et accidents en match, toutes catégories confondues, afin d'édicter des recommandations pour une pratique sécuritaire.
- Etablir la liste des examens médicaux à réaliser pour l'obtention d'une licence en fonction de son niveau de pratique et du type de jeu pratiqué.

2. Quel sont les usages à l'international, quelques exemples

a) L'Australie

L'Australie œuvre depuis de longues années afin que le rugby puisse être davantage sécurisé, inclusif et équitable. Les conclusions du World Rugby Weight Consideration Guidelines et d'autres travaux de recherche, ont conduit l'Australie en 2018 à mener une nouvelle politique en revisitant les règles de classement des jeunes joueurs, et par conséquent à formuler une nouvelle procédure dédiée au sur ou sous-classement (figure 27). Les procédures laissent ainsi

la possibilité d'inclure différents facteurs d'évaluation afin de classer des joueurs dont leur état de développement est susceptible de comporter un risque pour eux-même et leurs pairs s'ils viennent à concourir dans leur catégorie d'âge. Plus précisément, les règles exigent des joueurs entre les catégories de plus de 10 ans et de moins de 15 ans, dont les caractéristiques de taille et de masse corporelle se situent en-dessous ou au-dessus des seuils basés sur les valeurs normatives de la population australienne (tableau 12), qu'ils entreprennent des évaluations secondaires telles que celle de leur niveau de maturité (âge du pic de vitesse de croissance), de leurs qualités physiques, de leurs expériences et compétences de jeu... par un entraîneur indépendant agréé afin de déterminer leur mutation vers une catégorie d'âge plus appropriée.

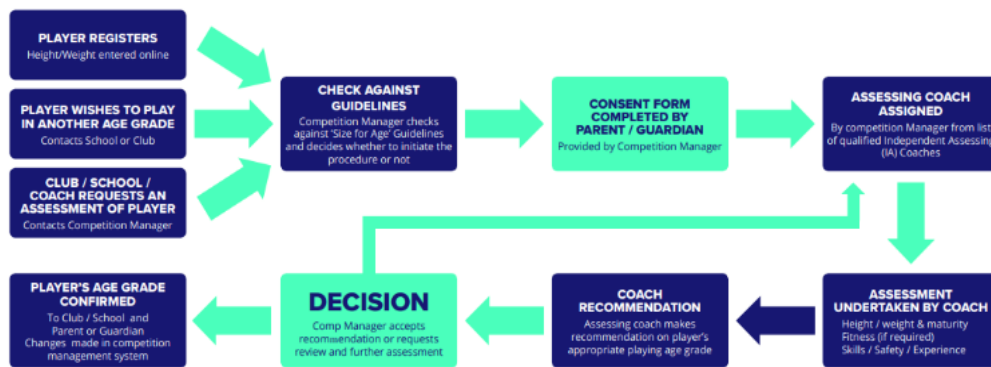


Figure 27. Procédure de sous ou surclassement des jeunes joueurs de la fédération de rugby Australienne (Age grade dispensation flowchart, Rugby Australia, 2020).

Pour les joueurs dont l'un des deux paramètres (la taille ou la masse corporelle) ne respecterait pas les seuils des valeurs normatives ou encore pour les enfants plus jeunes ou plus âgés que les catégories visées plus haut, l'évaluation secondaire relève d'une démarche volontaire et facultative. Cette demande de dispense peut aussi être à l'origine d'une simple demande du représentant légal ou d'un entraîneur.

Tableau 12 : Seuils de taille et des masses corporelles par catégorie d'âge (« Size for age » Guidelines – Rugby Australia, 2020).

Age Turning in Calendar Year	Players below both		Players above both	
	Height (cm)	Weight (kg)	Height (cm)	Weight (kg)
10 Years Old	130	26	158	58
11 Years Old	134	29	164	65
12 Years Old	140	32	172	72
13 Years Old	147	36	179	79
14 Years Old	153	40	185	85
15 Years Old	158	45	188	91

L'intégration en première intention de la taille et de la masse corporelle au sein de la fédération australienne de rugby dans le processus d'évaluation de l'elligibilité de la catégorie d'âge du joueur est une stratégie partagée par d'autres nations telles que la Nouvelle-Zélande. Cette dernière nation a en l'occurrence une culture de la restriction par la masse corporelle de la pratique du rugby depuis des décennies, et ce dans le but de sécuriser la pratique chez le jeune joueur. Cette restriction par la masse corporelle installée dans les catégories jeunes est aussi étendue chez les adultes, à l'instar de la création en 2020 d'un nouveau format de compétition dédié aux moins de 85 kg (NZ, barbarians Under 85 kg Club Cup).

b) La Nouvelle-zélande

Tout comme l'Australie ou la France, la fédération de rugby de Nouvelle-Zélande (NZRU) base la catégorisation de ses jeunes joueurs à partir de leur âge. Plus précisément, une catégorie correspond à une fenêtre d'âge qui laisse, si nécessaire, la possibilité de réunir un groupe de joueurs d'âges chronologiques différents. Les fenêtres d'âge se limitent à une fourchette d'une année pour les moins de 12 ans et de deux années pour les plus de 13 ans (tableau 13). Dans le cadre de circonstances exceptionnelles, il est possible de faire évoluer des joueurs en dehors de ces fenêtres d'une année supplémentaire, mais cela relèvera d'une autorisation devant respecter une procédure d'évaluation.

Tableau 13 : Catégorisation par âge et possibilité de sous et surclassement (NZRU, 2021).

Year Born	Delivery System	Age as at 1 Jan 21	Best Practice	Acceptable Practice		Exceptional Circumstances Case Approval required	Not Eligible
			Equivalent Year	1 Year Up	2 Years Up		
			Grade Equivalent	Grade Equivalent			
2002	Secondary School (or equivalent)	18	U19 / Senior Rugby			Senior Rugby*	NA
2003		17	U18	U19		Senior Rugby*	NA
2004		16	U17	U18		U19 / Senior Rugby*	NA
2005		15	U16	U17	U18	U19	Senior Rugby
2006		14	U15	U16	U17	U18	U19/Senior Rugby
2007		13	U14	U15	U16	U17	U18
2008		12	U13	U14		U15	U16
2009		11	U12	U13		U14	U15
2010		10	U11	U12		U13	U14
2011		9	U10	U11		U12	U13
2012		8	U9	U10		U11	U12
2013		7	U8	U9		U10	U11
2014		6	U7	U8		U9	U10
2015		5	U6	U7		U8	U9

Cette évaluation, assez similaire à celle de la Fédération Australienne de Rugby, nécessitera le consentement des représentants légaux, des conseils médicaux, une évaluation technique par un entraîneur indépendant, ainsi qu'une approbation par le dirigeant du club. Une masse corporelle, tout comme un niveau de maturation ou des aptitudes singulières sont des motifs pouvant amener à engager une demande de dispense à concourir dans sa catégorie d'âge théorique, et ce toujours dans un souci exclusivement de sécurité et d'amélioration de l'apprentissage. Cependant, cette classification en termes d'âge s'impose dans ce pays conjointement à une classification réalisée à partir de la masse corporelle, dont son application est sous l'égide des différentes provinces affiliées à la NZRU. Plus d'un quart des provinces adoptent cette régulation par la masse corporelle en sus de la classification par l'âge. Ainsi, certaines provinces avec une cohorte de joueurs suffisamment grande présentent deux façons d'intégrer ces critères de masse corporelle aux modalités de classement. Plus précisément, il est soit déterminé des limites de masse corporelle pour chacune des catégories d'âge (entre 8 et 13 ans), en dehors desquelles le joueur est amené à changer de catégorie (exemple de la province

du Canterbury rugby union, tableau 14 A), soit il est défini une catégorie à part entière strictement définie par une limite de masse corporelle où seuls les joueurs ayant un poids conforme peuvent jouer (exemple du Auckland rugby, tableau 14 B), à l'image des sports à catégorie de poids.

Tableau 14 : Catégories d'âge avec des valeurs limites de masse corporelle : A, Canterbury rugby union (World rugby, 2016) versus Catégories de masse corporelle : B, Auckland rugby, 2021.

	Minimum	Maximum
Under 8	23	32
Under 9	25	36
Under 10	27	38
Under 11	31	41
Under 12	35	46
Under 13	40	53
Under 14	45	58

A

Grade Name	Grade Info
U6	For Boys & Girls
U7	For Boys & Girls
U8	
U8 Restricted	Under 31kg
U9	
U9 Girls Only	
U9 Restricted	Under 35kg
U9 Rippa Girls	Girls Only
U9 Rippa Boys	Boys Only
U10	
U10 Restricted	Under 40kg
U11 Rip Rugby Girls	Girls Only
U11 Rip Rugby Boys	Boys Only
U11	
U11 Restricted	Under 46kg
U11 Rip Rugby Girls	Girls Only
U11 Rip Rugby Boys	Boys Only
U13 Girls Only	
U13 Rip Rugby Girls	Girls Only
U12 Capped	Under 74kg
U12 Restricted	Under 52kg
U13 Capped	Under 80kg
U13 Restricted	Under 59kg
U12/13 Combined	
U15 Girls Only	

B

c) *L'Angleterre*

Le modèle anglais repose aussi sur une classification par âge. Celui-ci est néanmoins déterminé à partir de l'âge du joueur au 31 août de l'année. Le joueur doit alors jouer dans sa propre classe d'âge, hormis s'il est autorisé à évoluer en dehors de celle-ci conformément à des règles précises. Les possibilités de surclassement vont différer selon l'âge du joueur, et se limitent chez le garçon à une seule catégorie (RFU Régulation 15, tableau 15). Outre la seule condition de sous-classement relative à un critère de taille dans une finalité de sécurité, les principales raisons de sur ou de sous-classement individuel ou de combinaison des âges sont motivées essentiellement par une logique d'acquisition de compétences rugbystiques, dont leur évolution théorique à un âge donné est présentée en figure 28.

Tableau 15 : Possibilités de sous et surclassement (RFU, Regulation 15, Age grade rugby, 2021).

MALE PLAYERS			
U6s (Yr1)	U6s are not permitted to play matches, competitions, tournaments or festivals with any older age grades.		
U7s (Yr2)	U7s and U8s can play and train together	Yes, with U8s only	U7s and U8s can play and train together
U8s (Yr3)		No playing up permitted	
U9s (Yr4)	U9s are permitted to be combined with U10s in accordance with 15.2.2	No playing up is permitted	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4
U10s (Yr5)	U10s are permitted to be combined with U9s or with U11s in accordance with 15.2.2	No playing up is permitted	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4
U11s (Yr6)	U11s are permitted to be combined with U10s or with U12s in accordance with 15.2.2	No playing up is permitted	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4
U12s (Yr7)	U12s are permitted to be combined with U11s or with U13s in accordance with 15.2.2	Yes, playing up one grade is permitted in accordance with 15.3.2	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4
U13s (Yr8)	U13s are permitted to be combined with U12s in accordance with 15.2.2	Yes, playing up one age grade is permitted in accordance with 15.3.2	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4
U14s (Yr9)	No combining permitted	Yes, playing up one age grade is permitted in accordance with 15.3.2	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4
U15s (Yr10)	No combining permitted	Yes, playing up one age grade is permitted in accordance with 15.3.2	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4
U16s (Yr11)	No combining permitted	Yes, in accordance with 15.3.2 and below: - playing up one age grade is permitted, including playing in the front row	Playing down is permitted in limited circumstances in accordance with 15.4

Le groupe d'âge doit d'être préservé aussi bien à l'entraînement que lors d'une compétition, et surtout tenir compte d'autres variables relatives au développement de l'enfant (émotionnelles, psychologiques et physiques). La mixité de niveau de pratique au sein du même groupe d'âge, notamment chez les moins de 12 ans, est privilégiée. Ainsi depuis une récente politique au sein de cette fédération, en vigueur depuis août 2021, l'encadrement est invité à préserver avant tout l'intégrité de jeune joueur dans une dimension holistique, et laisse une place relativement réduite au sur ou sous-classement individuel. Cette situation vient alors à être préconisée lorsque l'enfant est dans l'incapacité réelle de jouer avec ses pairs du même âge. L'objectif

reste néanmoins l'adaptation du groupe à des règles de jeu et des à objectifs d'apprentissage collectivement accessibles.



Figure 28. Progression des jeunes joueurs attendue en termes de compétences au fil de l'âge (Age grade, England Rugby, 2019/2020).

C. La considération d'autres facteurs dans le système de classification

1. La taille et le poids

La classification des jeunes joueurs de rugby par catégorie d'âge fait l'objet de débats depuis de nombreuses années dans certaines fédérations de rugby, et a donné lieu à une prise de conscience croissante pour faire évoluer le modèle de classement par âge (Patton et al., 2016). Comme illustré, la taille et le poids semblent être les deux caractéristiques anthropométriques principales prises en considération dans certains pays tels que l'Australie ou encore la Nouvelle-Zélande, afin de classer au mieux les jeunes joueurs. La sécurité avec un meilleur contrôle des blessures, l'équité dans la pratique, ainsi que la simplicité de ces caractéristiques semblent être les principales raisons motivant l'intégration de ces paramètres dans les règles de classification. L'intégration de la taille dans le processus de classification plutôt que l'âge semble être un argument pouvant aider à résoudre les inégalités entre joueurs de même âge. Les arguments principaux légitimant son usage résident notamment dans la grande variabilité de la taille au sein d'une même catégorie d'âge, ainsi que de sa forte dépendance avec le niveau de maturité de l'enfant. La catégorisation par la taille pourrait en quelque sorte traduire un développement précoce ou tardif, et présenter alors des opportunités d'apprentissage plus optimaux et appropriés à un stade de développement pubertaire donné.

S'agissant de la masse corporelle, elle peut aussi potentiellement servir de critère objectif et pratique en vue d'une meilleure répartition des jeunes joueurs de rugby (Patton et al., 2016). Cependant, ce critère fait également débat dans la mesure où elle a pu être identifiée, sans qu'elle soit assortie de mesures anthropométriques complémentaires telle que celle de la masse maigre (Till et al., 2011 ; Waldron et al., 2014), comme un mauvais prédicteur de performance (Krause et al., 2015). Lambert et al. (2010) ont de même suggéré dans une étude effectuée auprès de jeunes joueurs de rugby sud-africains qu'il n'était pas envisageable de catégoriser par la masse corporelle sans tenir compte de paramètres plus précis de composition corporelle. Patton et al. (2016) précisent que cette régulation par la masse corporelle ne peut s'appliquer qu'à partir de la distribution des valeurs de la cohorte de joueurs concernés, et ce sur une différence d'âge maximale d'un an. Par ailleurs, selon ces auteurs il n'est pas envisageable de classer les jeunes joueurs de rugby par la masse corporelle dont les valeurs seuils seraient issues d'une population différente que celle ciblée, et qui plus est anciennes en raison de l'évolution morphologique séculaire (Sedeaud et al., 2014). De plus, cette façon de catégoriser peut aussi d'une certaine manière fragiliser la culture rugbystique, notamment dans un sport où la distinction entre les postes de jeu est en grande partie liée à la morphologie du joueur.

2. La masse corporelle : l'éclairage de la fédération internationale, World Rugby

La fédération World Rugby, réunissant les 128 fédérations nationales s'est également saisie en 2016 de la question autour de la pertinence de la masse corporelle comme facteur de restriction ou de régulation. Au décourt d'une réflexion supposée amener à de grandes lignes directrices internationales, elle soulève certaines inquiétudes, rappelle quelques pratiques, et préconise des recommandations (Weight Consideration Guideline, 2016). Ses premières inquiétudes font référence à certains sports à catégorie de masse corporelle tels que la boxe, qui doivent faire face aux potentielles dérives des conduites alimentaires et dopantes, afin d'atteindre la limite inférieure de la masse corporelle de sa catégorie. Elle précise qu'il peut être pertinent d'associer d'autres paramètres à la masse corporelle, et rappelle les expériences de certains clubs écossais basées sur les travaux de Nutton et al. (2012). Dans cette étude, la masse corporelle est associée à la force de préhension et la taille afin de déterminer le niveau de maturité des joueurs de 15 ans, et leur aptitude à concourir chez les séniors. A l'image de la pratique des néo-zélandais, elle souligne aussi que cette régulation par la masse corporelle ne peut s'appliquer que si le

nombre de joueurs est suffisant, et laisse ainsi supposer un réel problème de faisabilité. Elle ajoute également qu'en fonction des règles de jeu instaurées dans les catégories d'âge, la régulation par la masse corporelle pourrait s'appliquer uniquement auprès des joueurs amenés à s'engager physiquement dans des situations de jeu exigeantes et traumatiques telles que la mêlée, le plaquage... La situation de la mêlée pour certaines nations est introduite tardivement à l'image du Canada permettant le jeu de la mêlée qu'à partir de l'âge de 11 ans, *versus* 8 ans pour la Nouvelle-Zélande. En fonction de l'héritage ethnique du pays, et par conséquent des différences de morphologie associées, certaines nations sont plus concernées et enclines à mettre en œuvre cette régulation, inscrite dans un objectif de sécurisation de la pratique. A ce jour, il n'existe pas de preuve attestant que la confrontation d'un joueur de masse corporelle élevée contre son homologue léger occasionne plus de risque de blessures. World Rugby ne rejette pas ce modèle de catégorisation par la masse corporelle. Dans ce cadre, cette institution préconise cependant de s'assurer que le jeune joueur ait les compétences physiques, psychosociales (motivation, estime de soi, ...), et cognitives (compréhension des règles du jeu, compétences de résolution de problèmes, traitement de l'information...) pour jouer au niveau prescrit.

3. De la maturité biologique vers des modèles bio-psycho-sociales.

Les différences individuelles dans le rythme de maturation entre l'âge de 10 et 14 ans ont un impact sur la variabilité du développement physique. Les garçons bénéficiant d'une maturité précoce connaissent en général un gain important de taille, de masse corporelle et de masse maigre (Malina et al., 2004) favorisant ainsi un avantage athlétique (physique et fonctionnel) par rapport à leur paire de maturité plus tardive (Malina et al., 2015). Même si cet avantage « temporaire » ne semble pas conditionner les performances à l'âge adulte, ces mêmes auteurs suggèrent une sélection et une participation plus importantes des enfants à maturité précoce dans les sports tels que le rugby, le football, hockey... où la taille, la force, la vitesse et la puissance sont des déterminants essentiels de la performance. Dès lors, afin de faire face à cette disparité et inéquité en compétition, et dans un souci de prévention des blessures potentielles, la catégorisation des jeunes sportifs à partir d'indices de maturation a été investie. La toute première notion d'âge physiologique a été proposée par Crampton (1908), puis est apparue l'application dans certaines compétitions sportives d'un classement basé sur des indices de croissance et de maturité proposé par Krogman dès 1957, et enfin de nos jours le concept de

« bio-banding » élaboré par Cumming et al. (2015) est largement discuté dans la littérature scientifique. Outre l'intérêt de rendre équitable les compétitions, ce dernier concept, basé sur une méthode de prédiction de l'état de maturation à partir du pourcentage d'atteinte de la taille prédictive à l'âge adulte, vient répondre à deux autres finalités. Cette approche est ainsi envisagée afin d'optimiser l'identification des jeunes talents et de favoriser l'entraînement des qualités physiques en fonction des ressources neuromusculaires, structurelles et énergétiques de l'enfant aux différentes périodes de maturation (figure 29). Pour illustrer, il est effectivement primordial de pouvoir distinguer une insuffisance de qualités physiques d'un retard de maturation afin d'éviter d'exclure maladroitement un jeune joueur d'un processus de détection (Cobley et al., 2016).

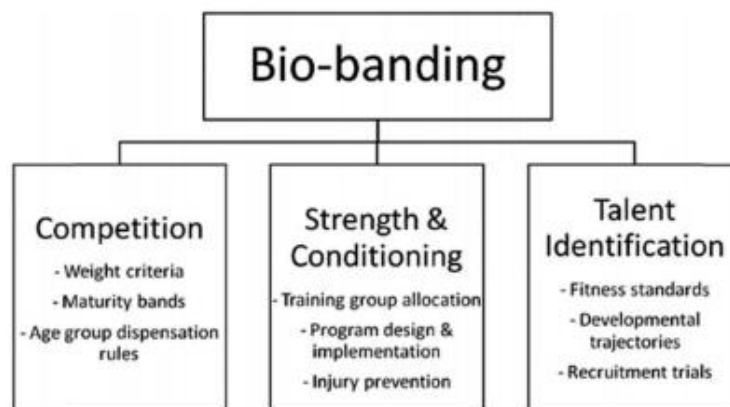


Figure 29. Les différentes applications du bio-banding (Cumming et al., 2015).

Il est important de porter une attention toute particulière aux opportunités d'apprentissage dans le but de maximiser le développement des qualités physiques en fonction du niveau de maturité de l'enfant (figure 30), à l'image des modèles tels que le « LongTerm Athlete Development » au Canada ou encore le « Youth Physical development » en Angleterre. Ces programmes d'entraînements sont des exemples de mises en œuvre pratiques de ce concept, où le principe est de considérer l'entraînement comme un *stimuli* complémentaire, voire synergique et synchrone à la maturation sur le développement d'aptitudes physiques et de prévenir certaines blessures.



Figure 30. Modélisation des « fenêtres d'apprentissage » selon le concept de bio-banding.

Outre ces facteurs physiques, nombreux sont les auteurs qui ont pu mettre en évidence un lien de causalité entre la maturation biologique et certaines adaptations psycho-socio-comportementales (Petersen et Taylor, 1980 ; Holmbeck et al., 2002). A partir de ces précédents travaux, Cumming et al. (2011) ont proposé un modèle théorique dit « bio-culturel » dans lequel est intégrée l'influence de certains facteurs dans la relation entre la maturation et l'activité physique, en termes d'adhésion, de performance, d'habiletés, ... (figure 31).

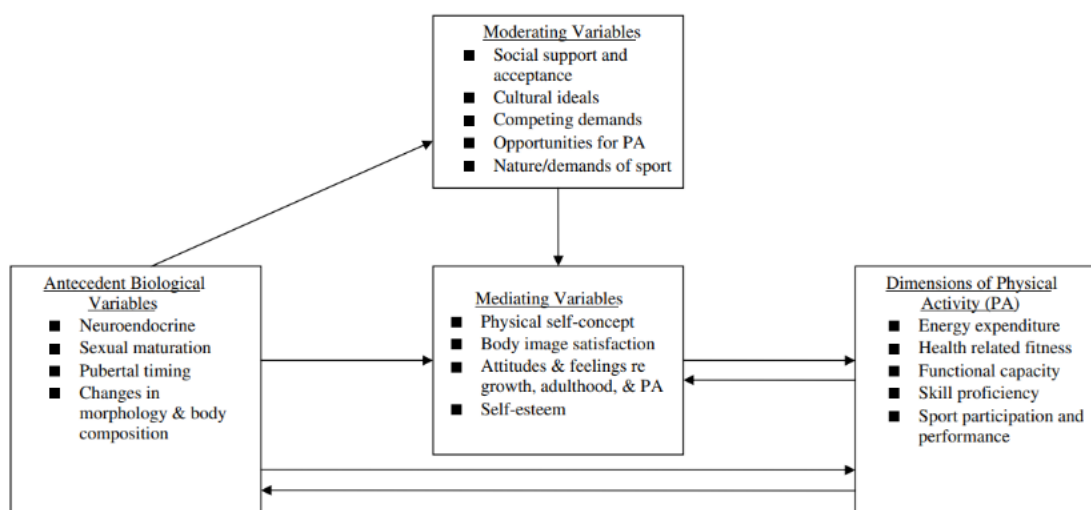


Figure 31. Maturation et adhésion à une activité physique : modèle « bio-culturel » de Cumming et al. (2011).

Ce modèle suggère que des facteurs extrinsèques tels que l'influence parentale, les valeurs culturelles (relatives par exemple aux normes corporelles en particulier au rugby), l'acceptation des pairs, les pressions sociétales, ... et les facteurs intrinsèques tels que l'estime de soi globale et physique, l'image corporelle, ..., influencent la relation maturation/activité physique. Ces facteurs doivent être ainsi considérés dans les évaluations et interprétations de la maturité. Pour illustration, Cumming et al. (2015) mentionnent qu'une maturité précoce concède à l'enfant un profil psychologique plus avancé, au travers d'une auto-perception physique plus importante, ainsi qu'une meilleure estime de soi, et *in fine*, un avantage pour leur sélection et participation à la pratique d'un sport. Même si la catégorisation des enfants à partir du niveau de maturation biologique et de la croissance squelettique semble être pertinente, ces mêmes auteurs appellent à la vigilance quant à la prise en compte incontournable des aptitudes psychologiques et techniques afin de proposer à l'enfant une expérience de jeu épanouissante, aussi bien dans un contexte d'entraînement que de compétition.

4. Vers une approche plus holistique

Les principales critiques faites aux méthodes de classement, et en l'occurrence à celles basées sur des composantes anthropométriques, sont liées à leur approche monofactorielle. Le niveau de maturité physique, la dimension mentale (psychologique, émotionnelle, sociale et cognitive) et les spécificités techniques du sport sont bien souvent peu considérés. Il est craint de nombreux effets néfastes relatifs à l'altération de l'estime de soi, au rejet du groupe, à l'épuisement mental, ... et *in fine*, il en résulterait un haut degré d'attrition. Il a été ainsi suggéré de combiner plusieurs critères en vue de créer des groupes d'apprentissage adéquats et sécurisés, dans lesquels l'enfant prendra plaisir à pratiquer, en vue d'optimiser son développement sportif. Cette approche dite holistique est prônée par la communauté scientifique et les cadres techniques des fédérations. A titre d'exemple, la nouvelle doctrine de la fédération anglaise de rugby priorise et préserve l'appartenance à un groupe, ou encore à l'image de l'expérience de l'association new-yorkaise « New York State Public High School Association » considérant des critères physiques, psychologiques, techniques, médicaux et de maturation pour dispenser le sport et les compétitions entre les écoles. Ces approches multifactorielles complexes sont peu explorées dans la littérature scientifique.

Certaines fédérations se sont posées la question de la pertinence de la masse corporelle comme critère de catégorisation chez le jeune joueur de rugby. Même si le courant contemporain oriente les méthodes de catégorisation des jeunes joueurs de rugby plus vers une approche holistique et multifocale, ces méthodes sont cependant complexes dans leur mise en œuvre. Ces méthodes tournées vers l'optimisation des apprentissages physique, technique et stratégique, la prévention des blessures, l'identification de talent, ou encore l'amélioration de l'adhésion à la pratique semblent ne plus se soustraire à la simple et historique fonction, celle d'éviter des inadéquations en compétition entre joueurs relatives à des niveaux de maturation très disparates. Manifestement, la force de ces méthodes semble résider dans la complémentarité des variables « bio-psycho-sociales » retenues, et le fait d'exclure aucune caractéristique sensible aux mécanismes de maturation et de croissance. Ainsi, il est important d'entrevoir que le modèle « hybride » a besoin d'être doté de caractéristiques discriminantes, afin de prédire les différents effets du processus de maturation sur l'enfant.

PARTIE II :
CONTRIBUTION
PERSONNELLE

I. Objectifs et hypothèses

Dans les sports de contact tels que le rugby, pour lesquels la force et la puissance sont prépondérantes, les athlètes tendent à avoir une masse corporelle élevée. En France, Sedeaud et al. (2013) font état d'une augmentation moyenne de 12 kg et de 5 kg sur une période de 20 ans (1988-1989 versus 2008-2009) chez les joueurs de rugby professionnels adultes et chez le jeune joueur (U15) respectivement. Impulser par le facteur culturel du rugby, le recrutement et le développement de morphotypes de forte corpulence peuvent conduire le jeune joueur de rugby à s'orienter vers un modèle de masse corporelle élevée (Sedeaud et al., 2013). Cependant, si la prise de poids chez le jeune joueur n'est pas contrôlée, elle peut aboutir à une accumulation excessive de masse grasse traumatogène et pathogène. L'étude de Thibault et al. (2010) observe manifestement que le rugby est particulièrement exposé à ce risque dans la mesure où la prévalence du surpoids des jeunes joueurs de rugby (11-18 ans) en France semble *a priori* élevée (33 %).

L'obésité chez l'enfant, et plus particulièrement chez le jeune sportif, peut avoir des conséquences défavorables sur la santé. Premièrement, les complications bio-psycho-sociologiques de l'obésité reposant sur une étiologie basée sur plusieurs mécanismes physiopathologiques imbriqués semblent pouvoir apparaître dès l'enfance ou l'adolescence. Deuxièmement, il est admis qu'une obésité précoce peut engendrer des troubles somatiques et psychiques plus tardivement à l'âge adulte. Effectivement, la période pubertaire a été identifiée comme prédictive d'un risque élevé d'obésité à l'âge adulte (Zhang et al., 2019). S'agissant des co-morbidités et de la mortalité associées à l'obésité, les études longitudinales basées sur des grandes cohortes semblent converger vers le même constat : l'obésité à l'adolescence est fortement associée à la surmortalité à l'âge adulte (Engeland et al., 2003 ; Twig et al., 2014). D'autre part, des différences majeures ont été observées concernant la composition corporelle, la maturation, les qualités physiques de force, de puissance et de vitesse entre les jeunes joueurs de rugby d'une même catégorie d'âge au cours de la puberté (Krauze et al., 2015 ; Till et al., 2013). Les changements marqués et variables des caractéristiques physiques et anthropométriques au cours de cette période représentent un facteur d'influence du risque de blessures et donc un enjeu pour les dirigeants et l'encadrement sportif afin de réduire et contrôler ce risque (Prager et al., 1989 ; Gomez et al., 1998). Outre l'influence du processus normal de maturation sur ce risque, l'évolution corporelle « pathologique » peut potentialiser les contraintes ostéo-articulaires, les douleurs et la fatigue musculaire. Dans une récente revue

systematique, Toomey et al. (2020) confirment qu'une forte adiposité chez le jeune sportif est associée à un plus grand risque de blessures, particulièrement au niveau des membres inférieurs.

La plupart des études s'intéressant à l'évaluation des caractéristiques anthropométriques du jeune joueur de rugby prennent en considération des adolescents d'un niveau de maturation relativement avancé, dans un contexte et avec des enjeux plutôt « élitistes » (analyse de la position du joueur, des performances, ...) et tenant compte de certaines spécificités ethniques.

Cependant aucune étude épidémiologique ne présente des informations sur l'évolution de la composition corporelle au cours des différentes phases pubertaires sur un effectif important de jeunes rugbymen de singularité française. De plus, la majorité de ces études utilise l'Indice de Masse Corporelle (IMC ; kg.m^{-2}), et le pourcentage de masse grasse pour caractériser la surcharge pondérale et le niveau d'adiposité. L'IMC ne donne aucune estimation de la composition corporelle. De la même façon, l'utilisation du pourcentage de masse grasse est questionnable en raison de l'absence de prise des facteurs d'influence tels que la taille, la masse maigre et les proportions du corps fortement modifiés au cours de la croissance. Ces deux indices sont ainsi critiquables dans l'évaluation de l'excès de masse grasse (Wells et al., 2000) à cette période de la vie.

Nous nous sommes ainsi intéressés dans ce travail aux caractéristiques anthropométriques d'une cohorte importante de jeunes joueurs de rugby de genre masculin, de nationalité française, et d'un large spectre de niveau pratique. La période pubertaire (9-14 ans) a été volontairement visée puisque celle-ci est sensible au développement de l'obésité et présente une grande variabilité corporelle entre joueurs de même âge chronologique.

Trois axes de recherche ont été développés :

1° L'évolution physiologique des tissus corporels liée au processus de maturation intrinsèque et des effets de l'entraînement rugbylistique doit être distinguée d'une évolution à caractère pathologique multicausale. Il semble donc essentiel de bien connaître l'effet de ces différents processus sur la composition corporelle au cours de la période pubertaire. Ainsi, l'objectif de la première étude (étude 1) consistait à estimer la prévalence de la surcharge pondérale chez le jeune joueur de rugby français à partir de l'IMC, selon les critères IOTF.

L'indice de masse corporelle ne permettant pas d'avoir d'indication sur la composition corporelle, la contribution des tissus maigre et gras dans les changements de l'IMC dans différentes catégories d'âge au cours de la période pubertaire a été évaluée à l'aide des indices de masse grasse (IMG) et de masse maigre (IMM) normalisés à la taille, proposés par VanItallie (1990). Le modèle graphique descriptif multidimensionnel développé par Hattori (1991) a permis d'évaluer l'excès de masse grasse, et de caractériser le morphotype des jeunes joueurs, en distinguant les joueurs de poids normal des joueurs en surpoids ou obèses. Dans ce même axe de recherche, l'objectif de la deuxième étude (étude 2) était d'apprécier la faiblesse de l'IMC et du pourcentage de masse grasse dans le dépistage de la surcharge pondérale au cours de la période pubertaire, et *in fine*, de faire un focus sur le niveau de sur ou sous-estimation supposé de cette dernière.

2° En raison de la grande variabilité de la maturation biologique et de la croissance entre joueurs de même âge chronologique au cours de la puberté, la Fédération Française de Rugby, comme d'autres nations, souhaitent optimiser l'apprentissage rugbystique dans un environnement sécurisé. La troisième étude (étude 3) consistait à analyser la méthode de la catégorisation par le poids comparativement à la catégorisation par l'âge, à partir d'une analyse complémentaire de la composition corporelle. L'approche à partir des deux indices de composition corporelle et selon le modèle graphique d'Hattori (1991) devrait permettre d'identifier des morphotypes et certaines atypicités du jeune joueur de rugby.

3° Le troisième axe de recherche (étude 4) avait pour objectif de proposer à l'encadrement sportif un dispositif diagnostique basé sur des indicateurs anthropométriques simples (mesures des circonférences), susceptibles de dépister une surcharge pondérale avérée, et de prédire d'autres atypicités nécessitant une attention toute particulière.

Les quatre grands objectifs de nos travaux sont ainsi les suivants :

- 1) Etablir la prévalence de la surcharge pondérale et de l'obésité chez le jeune joueur de rugby français,

- 2) Proposer une meilleure identification la composition corporelle du jeune joueur de rugby au cours de la phase pubertaire, à partir de la relation entre IMG et IMM, en fonction de l'âge.
- 3) Identifier des morphotypes atypiques (extrêmes) susceptibles d'être considérés et retenus dans les procédures de demandes de dérogation d'âge.
- 4) Identifier le(s) meilleur(s) indicateur(s) anthropométriques diagnostique(s) de la surcharge pondérale, simple d'utilisation à destination des éducateurs.

Hypothèse 1 : L'analyse de la contribution des indices de masse grasse (IMG) et maigre (IMM) dans le changement de l'IMC permet de mieux apprécier un excès avéré d'adiposité et, *in fine*, la prévalence du surpoids chez des jeunes joueurs de rugby de différentes catégories d'âge.

Hypothèse 2 : L'interprétation graphique bidimensionnelle d'Hattori facilite l'identification des morphotypes atypiques.

Hypothèse 3 : La catégorisation par le poids réduit les disparités anthropométriques entre les jeunes joueurs au sein d'une même catégorie.

Hypothèse 4 : Les mesures anthropométriques à partir de la méthode des circonférences prédisent les indices de masse grasse (IMG) et maigre (IMM).

Dans cette partie consacrée à notre contribution personnelle, seront présentées successivement :

- La méthodologie
- Une synthèse des résultats des études réalisées
- Une discussion générale suivie des perspectives.

En annexe, seront joints les articles rédigés (publié ou soumis à publication) dans leur intégralité.

II. Matériels et méthodes

A. Population

Les jeunes joueurs ayant participé aux différentes études sont tous rattachés à des clubs de la ligue PACA de rugby à XV.

Un total de 1000 joueurs de 9 ans à 14 ans et de sexe masculin a été impliqué dans l'étude sur une population comptant 4442 joueurs de rugby à XV en région PACA.

Entre septembre 2012 et mai 2013, 738 volontaires ont finalement participé aux études et ont été répartis selon leur catégorie d'âge chronologique (en vigueur à cette période dans le règlement de la Fédération Française de Rugby) suivante :

- 247 joueurs en U11 (inférieur à 11 ans) avec un âge moyen de $10,0 \pm 0,6$ ans
- 261 joueurs en U13 (inférieur à 13 ans) avec un âge moyen de $12,1 \pm 0,5$ ans
- 230 joueurs en U15 (inférieur à 15 ans) avec un âge moyen de $14,0 \pm 0,5$ ans

Les caractéristiques des enfants spécifiques à chaque étude seront précisées plus loin. Les investigations ont pu être réalisées dans la mesure où le consentement éclairé de l'enfant et du représentant légal ont été obtenus. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université de Toulon, et conduite conformément à la Déclaration d'Helsinki.

B. Détermination de la corpulence (études 1, 2, 3, 4)

La détermination de la corpulence a été réalisée à partir du calcul de l'indice de masse corporelle selon l'équation suivante : $IMC (kg.m^{-2}) = \text{Masse Corporelle (kg)} / \text{Taille}^2 (m)$. La taille debout a été mesurée en utilisant un stadiomètre (Leicester high measure, Tanita, UK). La masse corporelle a été mesurée en utilisant un pèse personne (SECA 920, class 3, Germany). Les participants étaient revêtus simplement de leur sous-vêtement au moment de la pesée. Les deux caractéristiques étaient mesurées respectivement à 0,1 cm et à 0,1 kg près.

C. Détermination de la composition corporelle (études 1, 2, 3, 4)

La composition corporelle a été évaluée par la méthode des 4 plis cutanés (biceps, triceps, sous-scapulaire et sus-iliaque) à l'aide d'une pince à plis de type Harpenden (Baty International, England). Tous les plis cutanés ont été mesurés par le même évaluateur pour éliminer la

variabilité inter-évaluateur. Le coefficient de corrélation intra-classe utilisé pour l'analyse de fiabilité test-retest sur un échantillon aléatoire de 50 joueurs pour chaque catégorie d'âge était supérieur à 0,99. Trois mesures successives ont été prises sur chaque site. Si les trois valeurs variaient de plus de 0,2 mm, une mesure additionnelle était prise. La moyenne des plis cutanés était ensuite analysée statistiquement. Le protocole de mesure des plis cutanés a été suivi conformément à la procédure standardisée décrit par Lohman (Lohman, 1992).

La densité corporelle (DC) a été déterminée selon l'équation de Durnin et Rahaman (1967) : $DC (g.ml^{-1}) = 1,1533 - 0,0643 \times \log \text{ somme des 4 plis cutanés}$. Le pourcentage de masse grasse a été calculé selon l'équation de Siri : $\% MG = (4,95 / DC - 4,5) \times 100$. La masse grasse et la masse maigre étaient exprimées en kilogrammes et en pourcentage. Afin de normaliser la composition corporelle à la taille, l'indice de masse grasse (IMG) et l'indice de masse maigre (IMM) ont été calculés selon les équations suivantes (VanItallie et al., 1990) :

- $IMG (kg.m^{-2}) = \text{Masse Grasse (kg)} / \text{Taille}^2 (m)$
- $IMM (kg.m^{-2}) = \text{Masse maigre (kg)} / \text{Taille}^2 (m)$
- Sachant que $l'IMC (kg.m^{-2}) = IMG (kg.m^{-2}) + IMM (kg.m^{-2})$
- Et que $\% MG = IMG / (IMG + IMM)$

D. Estimation du surpoids (études 1, 2, 3, 4)

La prévalence du surpoids a été déterminée à partir des valeurs d'IMC et des critères IOTF (International Obesity Task Force, Cole et al., 2000). Les joueurs des différentes catégories d'âge ont été considérés de poids normal, en surpoids, ou obèse. Dans cet échantillon, trois cent quarante enfants ont été considérés en surcharge pondérale (surpoids ou obèses).

E. Estimation d'un excès de masse grasse (études 1, 2)

L'excès de masse grasse a été défini à partir des valeurs seuils d'IMG et du pourcentage de masse grasse correspondant au 75^{ème} percentile de la distribution des valeurs dans chacune des catégories (U11, U13, U15) comme décrit par Weber et al. (2013).

F. Classification par l'âge (études 1, 2, 3, 4)

Les joueurs ont été classés selon les catégories d'âge en vigueur jusqu'en 2014 dans le règlement de la Fédération Française de Rugby : les moins de 11 ans (U11) ; les moins de 13

ans (U13) ; les moins de 15 ans (U15). L'âge a été enregistré avec sa décimale à partir de la date d'anniversaire et la date du test (tableau 16).

Tableau 16 : Caractéristiques des catégories Uage

	U11 (n = 247)	U13 (n= 261)	U15 (n = 230)
Age (ans)	10 ± 0.6	12.1 ± 0.5	14.0 ± 0.5
IMC (kg.m ⁻²)	19.3 ± 3.3	20.3 ± 3.4	25.2 ± 4.2
IMM (kg.m ⁻²)	14.9 ± 1.3	15.6 ± 1.8	18.5 ± 2.0
IMG (kg.m ⁻²)	4.4 ± 2.5	4.7 ± 1.9	6.7 ± 2.4

Note : IMC : indice de masse corporelle ; IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse

G. Classification par la masse corporelle (étude 3)

Les joueurs ont été classés selon les catégories de masse corporelle (Wx-y) avec pour « x », la valeur limite inférieure, et pour « y », la valeur limite supérieure de la masse corporelle de chaque catégorie correspondant respectivement au 25^{ème} et 75^{ème} percentile de la distribution de la masse corporelle de chacune des catégories d'âge (tableau 17). Les valeurs limites de masse corporelle ont été harmonisées afin de pallier aux chevauchements des valeurs observées entre les catégories d'âge et afin d'assurer une continuité entre chaque catégorie de masse corporelle. Plus précisément, la catégorie intermédiaire (W45-59,9) a été bornée par la valeur de la masse corporelle au 75^{ème} percentile de la catégorie U11, et par celle au 25^{ème} percentile de la catégorie U15.

Tableau 17 : Caractéristiques des catégories Wx-y

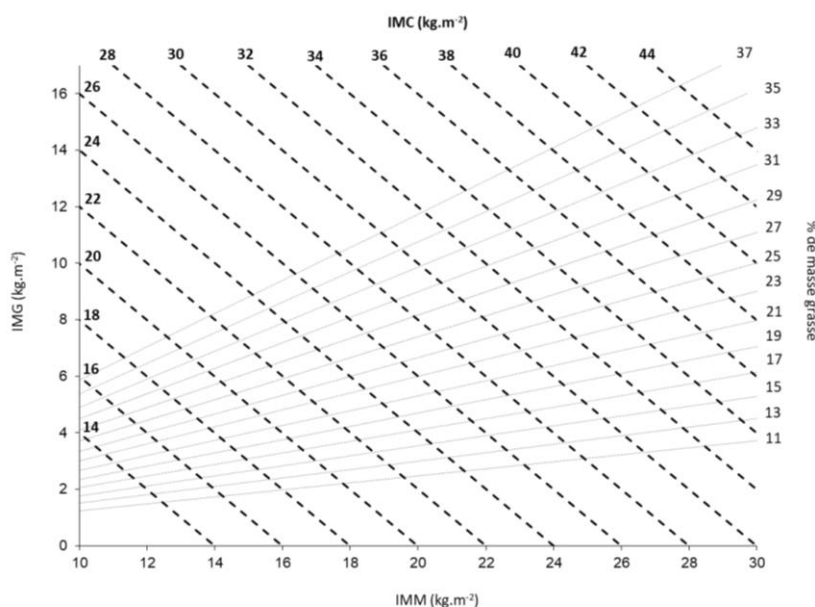
	W30-44.9 (n = 268)	W45-59.9 (n = 194)	W60-79.9 (n = 167)
Age (ans)	10.4 ± 1.1	11.7 ± 1.5	13.6 ± 1.2
IMC (kg.m ⁻²)	18.3 ± 1.9	21.9 ± 2.5	24.3 ± 2.5
IMM (kg.m ⁻²)	14.6 ± 1.0	16.1 ± 1.3	18.0 ± 1.3
IMG (kg.m ⁻²)	3.6 ± 1.3	5.7 ± 2.1	6.3 ± 1.8
25^{ème} percentile* (kg)	32.4	39.7	61.0
75^{ème} percentile* (kg)	44.2	54.8	80.0

Note : IMC : indice de masse corporelle ; IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse.

*percentiles des masses corporelles des U11, U13, U15.

H. Représentation graphique de la composition corporelle (études 1, 3)

Afin de présenter simultanément les différents aspects de la composition corporelle dans chacune des catégorisations des joueurs (modèle de l'âge par l'âge ; modèle par la masse corporelle), le modèle graphique revisité d'Hattori (1997) en deux dimensions a été utilisé (figure 32). Ce modèle inclut dans le même graphique, différents axes pour l'IMC, l'IMG, l'IMM et le pourcentage de masse grasse : $\% \text{ MG} = \text{IMG} / (\text{IMG} + \text{IMM})$.



Note : IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse ; IMC : indice de masse corporelle.

Figure 32. Modèle graphique revisité d'Hattori (Hattori et al., 1997).

I. Identification des morphotypes (études 3, 4)

A partir du modèle Hattori revisité, deux seuils pour chacun des indices IMG et IMM, basés sur leur valeur moyenne plus et moins un écart-type ont été déterminés afin de créer 3 subdivisions par indice (Hattori et al., 1997). Neuf subdivisions sur l'ensemble du modèle graphique ont été produites (« adipo-solid » (AS), « lean-solid » (LS), « adipo-slender » (ASI), « lean-slender » (LSI), « inter-inter », « inter-slender », « adipo-inter », « lean-inter », « inter-solid », dont quatre ont été identifiées comme étant extrêmes : AS, LS, ASI et LSI (figure 33).

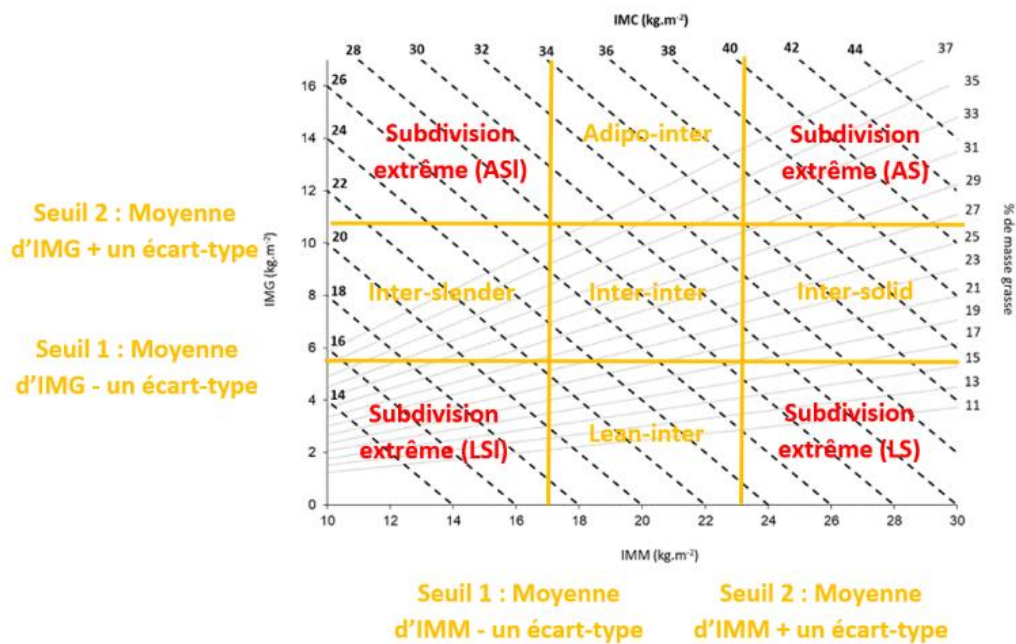


Figure 33. Identification des morphotypes « extrêmes » par subdivision simultanée d'IMG et IMM.

J. Comparaison des indices corporels entre les deux modalités de catégorisation (étude 3)

Le champ de dispersion normale de l'IMG et l'IMM dans les deux modalités de catégorisation des joueurs a été circonscrit dans une ellipse bivariée de confiance à 95 % afin de clarifier la forme de la dispersion de chaque indice corporel par rapport à l'autre. Les ellipses bivariées normales sont exposées séparément pour chacun des deux modalités de catégorisation : Uage vs Wx-y. Les ellipses et leur centroïde ont été modélisés en utilisant le programme GNU Octave 5.2.

K. Sous et surclassement (étude 3)

Le sous ou surclassement des joueurs a été effectué lorsque la masse corporelle du joueur est respectivement inférieure ou supérieure à la fourchette des valeurs de masse corporelle déterminées à partir des 25^{ème} et 75^{ème} percentiles (harmonisés) du groupe d'âge correspondant (Uage = Wx-y). Les pourcentages de joueurs qui changent de catégorie en raison de leur masse corporelle sont identifiés par catégorie d'âge, et par niveau de corpulence (normopondéré,

surpoids, obésité). Les joueurs dont leur masse corporelle les sous-classe dans une catégorie inférieure à U11 ou les sur-classe dans une catégorie supérieure à U15 n'ont pas été pris en compte.

L. Contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence (étude 2)

La contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence a été déterminée pour les joueurs en surpoids et obèses à partir de la proportion d'IMM et d'IMG au-delà de leur 75^{ème} percentile pour chacune des catégories d'âge de la population étudiée selon les équations suivantes :

$$IMM_{\text{excès}} (\%) = \frac{IMM(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) - IMM_{p75}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})}{IMM(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) - IMM_{p75}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) + IMG(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) - IMG_{p75}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})} \times 100$$

Et

$$IMG_{\text{excès}} (\%) = 100 - IMM_{\text{excès}} (\%)$$

La caractéristique de l'excès de corpulence est déterminée par la prédominance d'un des deux compartiments (> 50 %).

M. Autres mesures anthropométriques (étude 4)

Plusieurs mesures anthropométriques relatives à des circonférences et à des plis cutanés sur différents segments et sites corporels ont été effectuées :

- Sites concernés par les mesures de circonférences (figure 34) : cheville, mollet, cuisse, hanches, cou, poignet, avant-bras, bras, épaules, thorax, abdomen et taille.

Concernant les circonférences, trois mesures ont été prises par site grâce à ruban mètre à tension constante (Figure Finder Tape Measure, USA). Le protocole de mesures des circonférences a été suivi conformément aux procédures standardisées de Callaway et al. (1988).

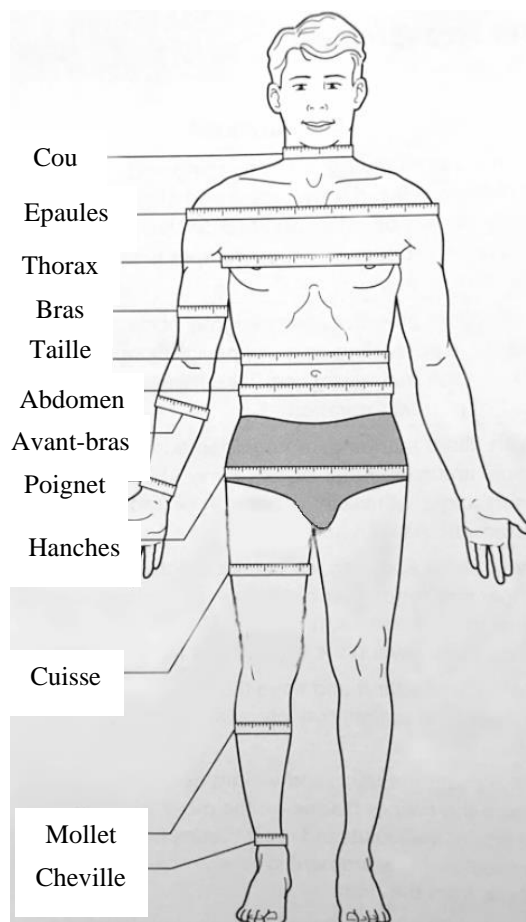


Figure 34. Les différentes mesures des circonférences (à partir des illustrations modifiées de Heyward et Wagner, 2003).

- Sites concernés par les mesures de plis cutanés (figure 35) : biceps, triceps, sous-scapulaire, sus-iliaque, addomen, cuisse et mollet.

Concernant les plis cutanés, trois mesures successives ont été prises à l'aide d'une pince à plis (Harpenden, Baly International, England). Si les trois valeurs variaient de plus de 0,2mm, une mesure additionnelle était prise et la moyenne des plis cutanés était alors retenue. Le protocole de mesure des plis cutanés a été suivi conformément aux procédures standardisées de Harrison et al., 1988.

Toutes les mesures ont été effectuées par le même évaluateur pour éliminer la variabilité inter-évaluateur.

Les participants étaient revêtus d'aucun vêtement au moment des mesures.

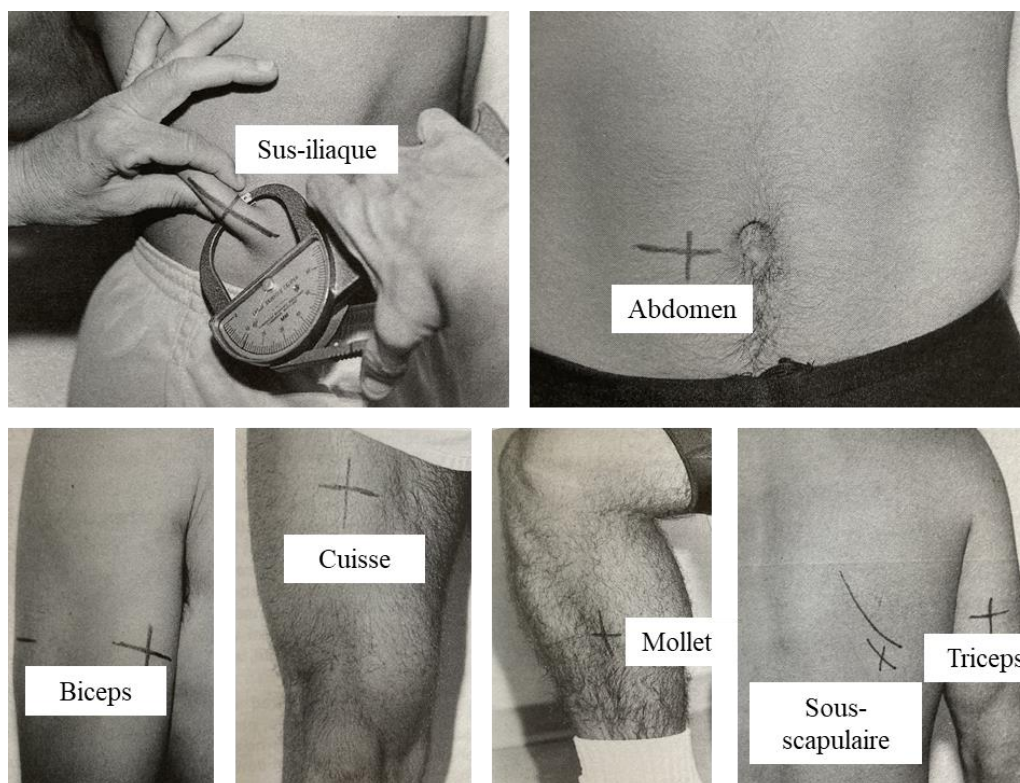


Figure 35. Les différentes mesures des plis cutanés (à partir des illustrations modifiées de Heyward et Wagner, 2003).

N. Temps de pratique sportive (études 1, 2, 3, 4)

Le temps passé à pratiquer une activité sportive (activités physiques scolaires, entraînements de rugby) a été également évalué à partir d'un questionnaire. Les valeurs sont présentées ci-dessous :

- Temps d'activité physique scolaire : U11 : $3,0 \pm 0,0$; W30-44,9 : $3,5 \pm 0,5$; U13 : $4,0 \pm 0,0$; W45-59,9 : $3,7 \pm 0,6$; U15 : $2,9 \pm 1,0$, W60-79,9 : $3,0 \pm 1,0$ heures/semaine.
- Temps de pratique d'entraînement au rugby : U11 : $3,8 \pm 0,4$; W30-44,9 : $3,9 \pm 0,5$; U13 : $4,1 \pm 0,6$; W45-59,9 : $4,3 \pm 0,8$; U15 : $5,2 \pm 1,2$; W60-79,9 : $4,9 \pm 1,2$ heures/semaine.

O. Statistiques (études 1, 2, 3, 4)

L'analyse statistique a été réalisée au moyen du logiciel Statistica 6.1 (Statsoft, Inc 1984-2003). La normalité des échantillons était évaluée avec le test de Kolmogorov-Smirnov pour définir

le choix de l'utilisation des tests paramétriques ou non paramétriques. Les valeurs étaient représentées par leur moyenne \pm l'erreur standard à la moyenne. Les différences ont été admises comme significatives au seuil de 5 % ($p < 0,05$). Les spécificités statistiques de chacune des études seront précisées lors de leur présentation. Le d de Cohen a permis caractériser la taille de l'effet pour la comparaison des groupes. La taille de l'effet est dite : très faible pour $d < 0,2$ - faible $0,2 < d < 0,5$ - moyenne $0,5 < d < 0,8$ - élevée pour $d > 0,8$. Lors d'une analyse de variance factorielle, la taille de l'effet a été mesurée à partir de l'êta – carré partiel (η^2_p).

III. Résultats

A. Détermination de la prévalence de la surcharge pondérale du jeune joueur de rugby à XV

Dans la première partie de ce travail de recherche, les travaux portent sur la détermination de la prévalence de la surcharge pondérale, et de la contribution de la masse grasse et de la masse maigre normalisées à la taille dans la valeur de l'IMC chez le joueur de rugby à XV entre 9 et 14 ans (étude 1).

A Cross-Sectional Study Assessing the Contributions of Body Fat Mass and Fat-Free Mass to Body Mass Index Scores in Male Youth Rugby Players.

O. Gavarry, G. Lentin, P. Pezery, A. Delextrat, G. Chaumet, A. Boussuges, J Piscione

Sports Medicine - Open

Gavarry, O., Lentin, G., Pezery, P., Delextrat, A., Chaumet, G., Boussuges, A., & Piscione, J. (2018). A Cross-Sectional Study Assessing the Contributions of Body Fat Mass and Fat-Free Mass to Body Mass Index Scores in Male Youth Rugby Players. *Sports medicine - open*, 4(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0130-7>

1. Introduction

L'augmentation de l'activité physique spontanée et de la participation à des pratiques sportives dans les populations pédiatriques est une recommandation importante pour la prévention et le traitement de l'obésité (Hills et al., 2011). Cependant, les bénéfices de la pratique sportive n'ont pas été systématiquement démontrés dans la prévention de l'obésité chez les jeunes (Nelson et al., 2011). Bien qu'un grand nombre d'études ont évalué la prévalence de l'obésité chez les enfants et les adolescents sédentaires, les recherches sur les jeunes athlètes sont rares (Choate et al., 2007 ; Malina et al., 2007 ; Nikolaidis et al., 2013 ; Thibault et al., 2010). Dans certains sports, comme le rugby, une corpulence élevée est un avantage, et le désir d'augmenter sa masse corporelle peut amener les jeunes joueurs à devenir en surpoids ou obèses. Dans un autre sport de contact, Malina et al., (2007) ont observé une prévalence élevée du surpoids et d'obésité (42,6 %) chez des jeunes joueurs de football américain. Cette augmentation de l'obésité à l'adolescence pourrait se traduire ultérieurement par une prévalence encore plus importante de l'obésité à l'âge adulte (Craigie et al., 2009). De plus, le surpoids et l'obésité chez les adolescents peuvent contribuer à un plus grand risque de blessure lors de la pratique d'un sport (McHugh et al., 2010), en raison de la persistance de problèmes orthopédiques et des douleurs musculo-squelettiques dans les membres inférieurs (Richmond et al., 2013). Par ailleurs, l'obésité de l'enfant et de l'adolescent, caractérisée par une réduction de la force musculaire des membres inférieurs (Wearing et al., 2006) et une moindre aptitude aérobie (Kyröläinen et al., 2010), peuvent aussi induire une diminution des performances athlétiques.

Dans le rugby comme dans de nombreux autres sports, les compétitions sont organisées en fonction des catégories d'âge chez les enfants et les adolescents, afin de tenir compte de l'influence de la croissance sur les caractéristiques anthropométriques, et par conséquent sur les performances. Plusieurs études, menées au Royaume-Uni et en Australie, se sont centrées sur les caractéristiques anthropométriques des joueurs de rugby adolescents, en tenant compte du niveau de jeu et la position du joueur (Cheng et al., 2014 ; Till et al., 2013), des performances physiques (Till et al., 2013 ; Krause et al., 2014), de l'ethnie et de l'âge. Cependant, aucune donnée n'est disponible concernant les changements de composition corporelle d'un échantillon important de jeunes joueurs de rugby pendant la période pubertaire. De plus, la majorité de ces études dans ce domaine ont utilisé l'indice de masse corporelle (IMC) et/ou le pourcentage de graisse corporelle, qui ne sont pas considérés comme les indices les plus pertinents d'un excès de masse grasse pendant la croissance (Wells et al., 2001). Enfin, les quelques études portant

sur la prévalence du surpoids et de l'obésité chez les jeunes athlètes n'ont pas évalué la composition corporelle (Choate et al., 2007). En effet, l'IMC est facilement mesurable et couramment utilisé pour classer les enfants ou les adolescents comme obèses ou en surpoids. Cependant, l'IMC ne fait pas la distinction entre la masse grasse et la masse maigre, alors que l'obésité est définie comme un excès de graisse corporelle (Cole et al., 2000). De même, l'utilisation du % MG est discutable en raison de son incapacité à prendre en compte la taille, la masse maigre, ou les proportions corporelles qui changent de façon marquée au cours de la croissance (Wells et al., 2001). Pour ces raisons, VanItallie et al. (1990) ont recommandé d'utiliser les deux composantes de l'IMC comme indicateurs de l'état nutritionnel : l'indice de masse grasse (IMG) et l'indice de masse musculaire (IMM). Ainsi, les contributions de la masse grasse et de la masse maigre dans la valeur de l'IMC et dans l'excès d'adiposité peuvent être déterminées par une analyse graphique (Nakao et al., 2003).

Dans ce contexte, les objectifs de cette étude étaient 1) d'évaluer la prévalence du surpoids et de l'obésité à partir de l'IMC chez les jeunes joueurs de rugby masculins en France, afin d'identifier la proportion de joueurs obèses et en surpoids présentant un excès d'adiposité, à partir de l'IMG au-dessus du 75^{ème} percentile et 2) d'examiner la contribution de l'IMG et de l'IMM dans les évolutions de l'IMC au sein des différentes catégories d'âge. Cette étude transversale visait également à évaluer les différences de composition corporelle entre les joueurs de poids normal et les joueurs en surpoids/obèses. Les relations entre l'IMC, l'IMG, l'IMM, et le pourcentage de masse grasse ont été étudiées. Nous avons utilisé les catégories d'âge de la Fédération Française de Rugby en vigueur jusqu'en 2014 dans notre analyse afin de refléter les différences de composition corporelle en tenant compte des contraintes réelles en situation de compétition.

2. Méthodologie

a) Population étudiée

Lieu : Clubs de la ligue PACA de rugby à XV.

Sujets : joueurs de rugby à XV ; sexe masculin ; n = 738 dont 247 joueurs en U11 avec un âge moyen de $10,0 \pm 0,6$ ans ; 261 joueurs en U13 avec un âge moyen de $12,1 \pm 0,5$ ans ; 230 joueurs en U15 avec un âge moyen de $14,0 \pm 0,5$ ans.

Sélection : pratique en club, avec le consentement du joueur et celui des représentants légaux

Critères d'exclusion : aucun

b) Méthode

L'évaluation de la composition corporelle et l'estimation de la prévalence du surpoids ont été effectuées comme décrites dans la méthodologie générale.

L'excès de masse grasse a été défini également comme décrit dans la méthodologie générale à partir du 75^{ème} percentile des valeurs d'IMG et de pourcentage de masse grasse de la population étudiée.

L'utilisation du modèle Hattori a permis de projeter simultanément les valeurs d'IMG et d'IMM selon le niveau de corpulence pour chacune des catégories d'âge.

c) L'analyse statistique

La prévalence du surpoids et de l'obésité a été calculée dans un intervalle de confiance de 95 %. Les différences ont été admises comme significatives au seuil de 5 % ($p < 0,05$). Un test χ^2 a été utilisé pour évaluer la distribution des surpoids et obèses par catégorie d'âge. La normalité des paramètres a été évaluée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Des tests paramétriques sur séries non appariées (ANOVA à deux voies, test post hoc de Sheffé) ont été utilisés pour comparer les valeurs d'IMC, d'IMG et d'IMM entre les différentes catégories d'âge et entre les différents groupes (normopondéré *versus* surpoids/obèses). La taille de l'effet a été calculé en utilisant le d de Cohen et η^2_p . Les coefficients de corrélation de Pearson ont été calculés pour examiner la relation entre l'IMC, l'IMG et l'IMM.

3. Résultats

a) Prévalence du surpoids/obésité à partir de l'IMC (critères IOTF)

La prévalence du surpoids et/ou de l'obésité sont présentées dans le tableau 18. Une prévalence similaire de surpoids et d'obésité a été trouvée chez les U11 (33,6 %) et U13 (37,5 %). Cependant, cette prévalence a augmenté de manière substantielle entre U13 et U15, près de 71 % des joueurs en U15 sont en surpoids ou obèses. La prévalence du surpoids tout à âge confondu trouvée est de 46,6 % dont 32,8 % de jeunes joueurs en surpoids et 13,8 % obèses.

Tableau 18 : Prévalence du surpoids et de l'obésité chez le jeune joueur de rugby dans différentes catégories d'âge (Gavarry et al., 2018).

	Surpoids		Obèse		Surpoids et obèse	
	%	IC95%	%	IC95%	%	IC95%
IOTF						
Tous	32.8	29.4-36.2	13.8	11.3-16.3	46.6	43.0-50.2
U11	23.9	18.6-29.2	9.7	6.0-13.4	33.6	27.7-39.5
U13	30.3	24.7-35.8	7.3	4.1-10.4	37.5	31.7-43.4
U15	45.2	38.8-51.6	25.7	20.0-31.3	70.9	65.0-76.7

Note: IC9 5%, intervalle de confiance à 95 %.

b) Prévalence du surpoids/obésité à partir du 75^{ème} percentile

Les joueurs de rugby de poids normal, en surpoids et obèses (critères IOTF) ont été classés à partir d'un excès de graisse corporelle considéré à partir des valeurs d'IMG et de % MG au-dessus du 75^{ème} percentile (tableau 19), tel que décrit par Weber et al. (2013).

Ainsi les seuils de référence retenus,

- IMG : U11 : > 5,6 kg.m⁻² ; U13 : > 5,7 kg.m⁻² ; U15 : > 8,2 kg.m⁻².
- % MG : U11 : > 26,1 % ; U13 : > 27,3 % ; U15 > 30 %.

Tableau 19 : Pourcentage des jeunes joueurs de rugby de poids normal, en surpoids, obèses (critères IOTF) ayant un excès d'adiposité à partir de l'IMG et % MG (> 75^{ème} percentile).

	U11			U13			U15		
	Normal	Surpoids	Obèse	Normal	Surpoids	Obèse	Normal	Surpoids	Obèse
IMG									
>75^{ème} percentile	0.6	65.5	100.0	1.8	57.0	94.4	0.0	6.7	89.4
%MG									
> 75^{ème} percentile	3.6	58.6	95.6	4.9	50.6	94.4	0.0	15.4	71.2

Note: IMG: indice de masse grasse; % MG: pourcentage de masse grasse.

Les résultats ci-dessous présentent le pourcentage de joueurs de poids normal, en surpoids, et obèses (critères IOTF) considérés en excès de masse grasse :

Selon le critère du seuil de l'IMG (>75^{ème} percentile) :

- Joueurs de poids normal : U11 : 0,6 %, U13 : 1,8 %, et aucun en U15.
- Joueurs en surpoids : U11 : 65,5 % ; U13 : 57 % ; U15 : 6,7 %.
- Joueurs obèses : U11 : 100 % ; U13 : 94,4 % ; U15 : 89,4 %.

Selon le critère du seuil de % MG (>75^{ème} percentile) :

- Joueurs de poids normal : U11 : 3,6 % ; U13 : 4,9 % et aucun U15.
- Joueurs en surpoids : U11 : 58,6 % ; U13 : 50,6 % ; U15 : 15,4 %.
- Joueurs obèses : U11 : 95,6 % ; U13 : 94,4 % ; U15 : 71,2 %.

c) Evolution des indices de masse corporelle et composition corporelle entre les catégories d'âge chez les joueurs de poids normal et en surcharge pondérale (surpoids et obésité).

Pour l'IMC,

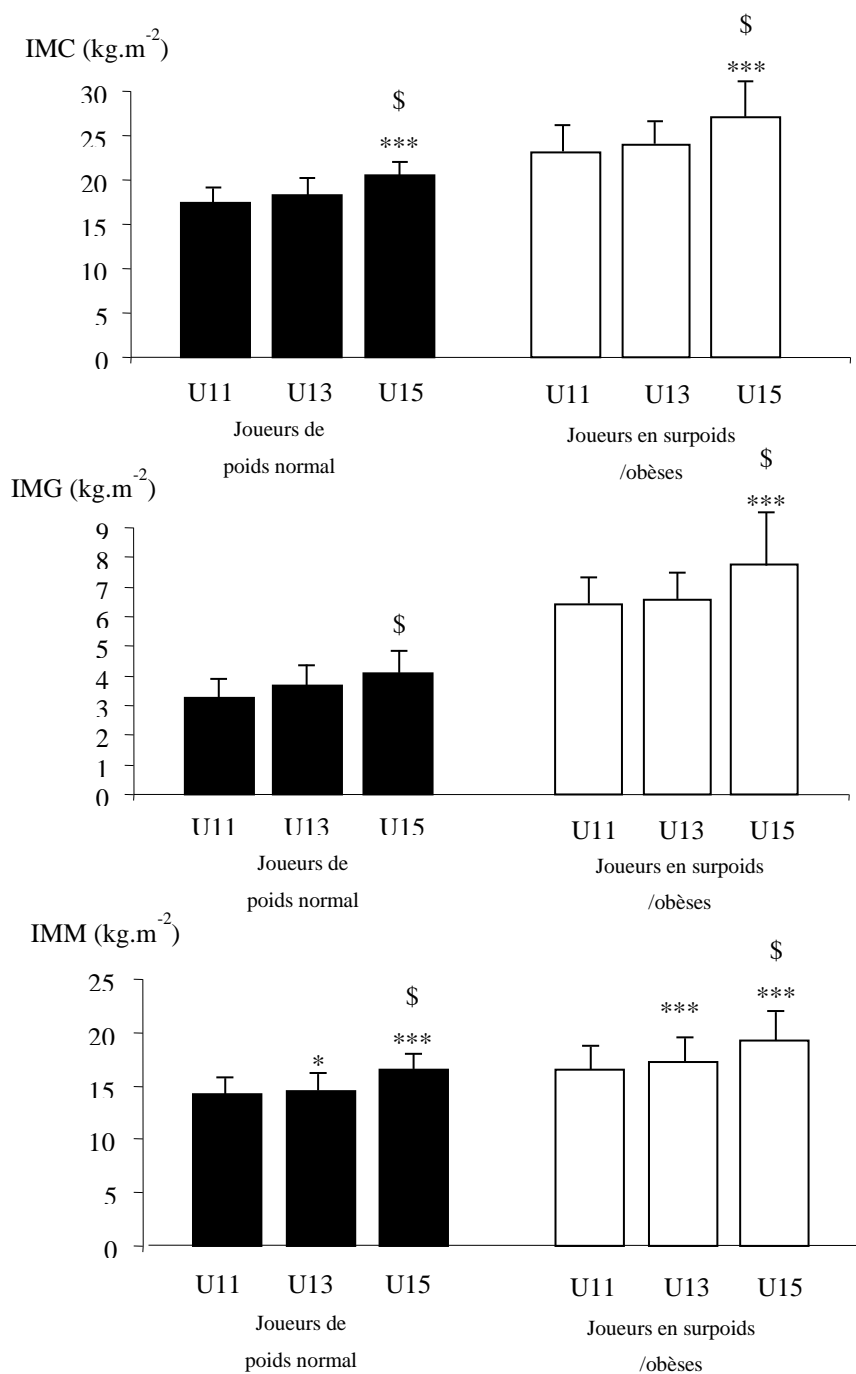
Pour les deux groupes (poids normal et en surcharge pondérale), il n'a été trouvé aucune différence significative entre les U11 et les U13 alors que c'était le cas entre les U13 et U15 (poids normal : + 2,4 kg.m⁻² / + 13,2 %, 95 % IC 3,2 à 1,6, d = 1,26, p < 0,001 ; surcharge pondérale : + 3,2 kg.m⁻² / + 13 %, 95 % IC 4,5 à 1,8, d = 0,88, p < 0,001 ; figure 36A).

Pour l'IMG,

Chez les joueurs de poids normal, aucune différence significative est observée entre les catégories d'âge. Chez les joueurs en surcharge pondérale, l'IMG augmente significativement entre U13 et U15 (+ 1,2 kg.m⁻² / + 18,5 % ; 95 % IC 2,0 à 0,4, d = 0,6 ; p < 0,001 ; figure 36B).

Pour l'IMM,

Pour les deux groupes (poids normal et en surcharge pondérale), l'IMM augmente significativement entre U11 et U13 (poids normal : + 0,4 kg.m⁻² / + 2,8%, 95% IC 0,8 à 0,0, d = 0,40, p < 0.001; surcharge pondérale : + 0,7 kg.m⁻² / + 6 %, 95 % IC 1,5 à 0,2, d = 0,46, p = 0,02) et entre U13 et U15 (poids normal : + 2 kg.m⁻² / + 13,5 %, 95 % IC 2,4 à 1,5, d = 0,54, p < 0.001; surcharge pondérale : + 2 kg.m⁻² / + 18,3 %, 95 % IC 2,7 à 1,2, d = 1,05, p < 0,001 ; figure 36C).



Note: IMG: indice de masse corporelle; IMM: indice de masse maigre; avec les données présentées sous forme de moyenne \pm SD. * $p < 0,05$ and *** $p < 0,001$ représente les différences significatives entre une catégorie par rapport à la précédente. \$ $p < 0,001$ représente les différences significatives entre U11 et U15. IMC (a) : effet principal catégorie (âge) - $p < 0,001$, η^2p 0.261; effet principal groupe (corpulence) - $p < 0,001$, η^2p 0.578; interaction catégorie \times groupe non significative. IMG (b) : effet principal catégorie - $p < 0,001$, η^2p 0,081; effet principal corpulence - $p < 0,001$, η^2p 0,531; interaction catégorie \times groupe - $p = 0,02$, η^2p 0,010. IMM (c) : effet principal catégorie - $p < 0,001$, η^2p 0,363; effet principal corpulence - $p < 0,001$, η^2p 0,475; interaction catégorie \times groupe non significative.

Figure 36. Indices corporelles (IMC, IMG, IMM) entre les catégories d'âge et selon leur niveau de corpulence chez le jeune joueur de rugby.

d) Différences de composition corporelle selon le niveau de corpulence

L'ensemble des indices de masse et de composition corporelle était significativement plus élevé ($p < 0,001$) chez les joueurs obèses/surpoids que chez les joueurs de poids normal dans toutes les catégories d'âge. La taille de l'effet est importante.

Pour l'IMC, U11 : + 5,6 kg.m⁻², IC 95 % : 6,1 à 5,1, $d = 1,69$; U13 : + 5,7 kg.m⁻², IC 95 % : 6,1 à 5,1, $d = 1,67$; U15 : + 6,4 kg.m⁻², IC à 95 % : 7,2 à 5,5, $d = 1,53$.

Pour l'IMG, U11 : + 3,2 kg.m⁻², IC 95 % 3,5 à 2,8, $d = 1,70$; U13 : + 3,0 kg.m⁻², IC 95 % 3,2 à 2,6, $d = 1,65$; U15 : + 3,7 kg.m⁻², IC 95 % : 4,2 à 3,2, $d = 1,52$.

Pour l'IMM, U11 : + 2,4 kg.m⁻², IC À 95 % : 2,7 à 2,2, $d = 1,54$; U13 : + 2,7 kg.m⁻², IC 95 % : 3,0 à 2,4, $d = 1,34$; U15 : + 2,7 kg.m⁻², IC 95 % : 3,2 à 2,3, $d = 1,35$.

e) Corrélation entre les indices corporels et le pourcentage de masse grasse en fonction des catégories d'âge et de la corpulence.

Comme le montre le tableau 20,

Chez les joueurs de poids normal, l'IMC était modérément corrélé à l'IMG ($r = 0,71-0,75$; $p < 0,001$) et à l'IMM ($r = 0,66-0,75$; $p < 0,001$) chez les U11 et U15 mais fortement corrélé à l'IMG ($r = 0,85$; $p < 0,001$) et à l'IMM ($r = 0,86$; $p < 0,001$) chez les U13.

Chez les joueurs en surpoids et obèses, l'IMC était fortement corrélé à l'IMG ($r = 0,81-0,92$; $p < 0,001$) dans toutes les catégories d'âge. Cependant la corrélation entre l'IMC et l'IMM était faible ($r = 0,33$; $p < 0,01$), modérée ($r = 0,72$; $p < 0,001$) et forte ($r = 0,90$; $p < 0,001$), respectivement chez les U11, U13 et U15. Les corrélations entre l'IMC et le % MG étaient systématiquement plus basses que celles observées entre l'IMC et l'IMG.

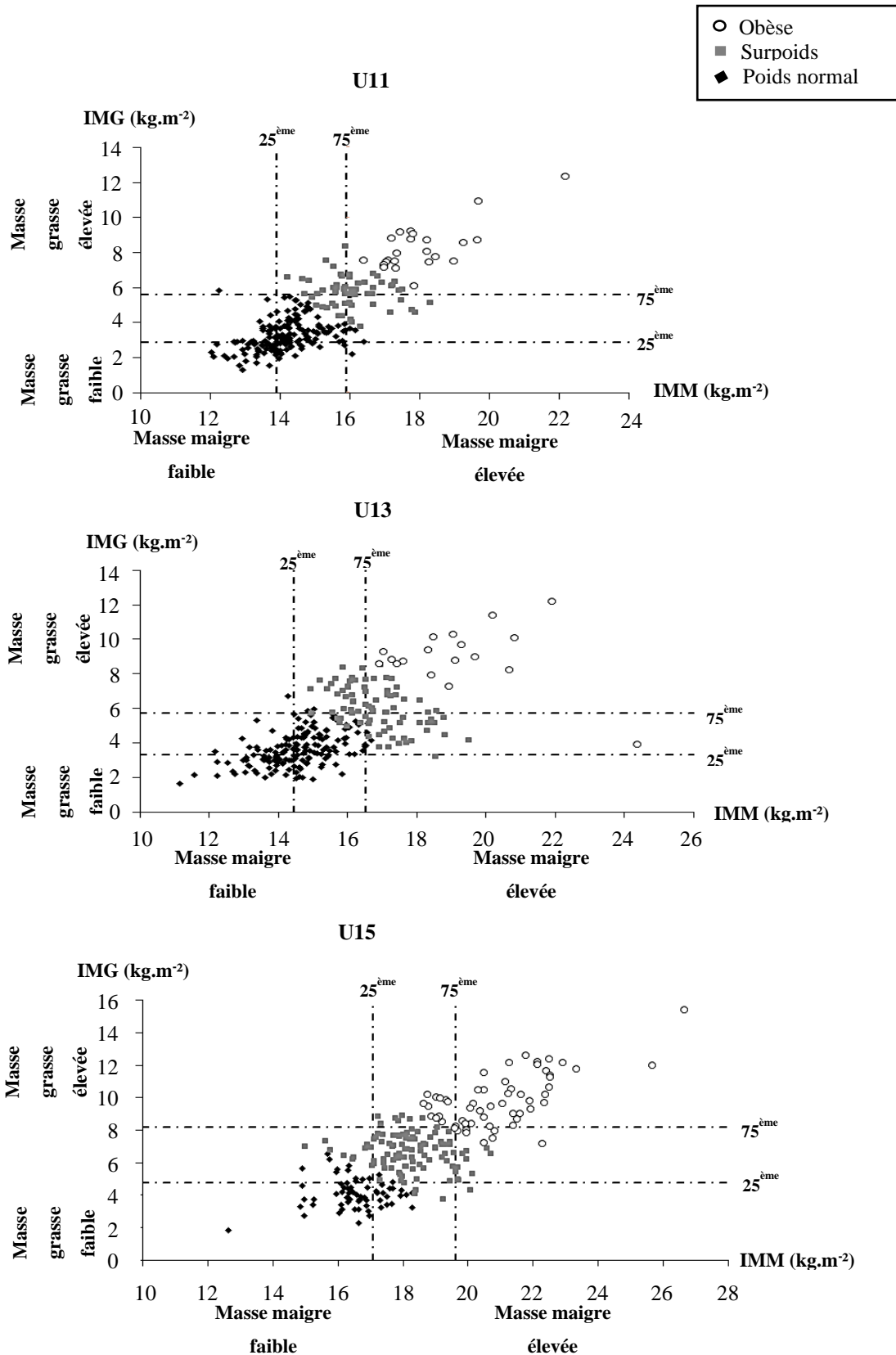
Tableau 20 : Corrélation entre l'IMC et l'IMG, l'IMM et le % MG chez le jeune joueur de rugby.

	IMG (kg.m ⁻²)	IMM (kg.m ⁻²)	% MG
U11			
Total	0.96***	0.94***	0.87***
Normal	0.75***	0.66***	0.64***
Surpoids/obèse	0.89***	0.34**	0.74***
U13			
Total	0.91***	0.90***	0.79***
Normal	0.85***	0.86***	0.66***
Surpoids/obèse	0.81***	0.72***	0.35**
U15			
Total	0.95***	0.93***	0.82***
Normal	0.71***	0.75***	0.54***
Surpoids/obèse	0.92***	0.90***	0.69***

Note: IMG: indice de masse grasse; IMM: indice de masse maigre; % MG: pourcentage de masse grasse; ** p < 0.01; *** p < 0.001.

f) Relation entre l'IMG et l'IMM selon les catégories d'âge et la corpulence (figure 37).

Les valeurs moyennes d'IMM, d'IMG et de % MG étaient respectivement de 16,3 kg.m⁻² ; 5,2 kg.m⁻² et de 23,3 %. La majorité des jeunes joueurs obèses (de 66 à 100 %) se situait dans les plus haut tertiles d'IMG et d'IMM. Indifféremment du niveau de corpulence, l'IMM était modérément à fortement corrélé à l'IMG chez les U11 (r = 0,80 ; p < 0,001), les U13 (r = 0,66 ; p < 0,001) et U15 (r = 0,77 ; p < 0,001).



Note : IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse.

Figure 37. Niveau d'IMG versus IMM à partir des 25 et 75^{ème} percentiles d'une distribution des jeunes joueurs de rugby par catégorie d'âge.

4. Discussion-conclusion

Dans cette présente étude, 33% des jeunes joueurs de rugby âgés de 9 à 14 ans étaient considérés en surpoids, et 14 % étaient classés comme obèses selon les critères de l'IOTF. Ces valeurs sont beaucoup plus élevées que celles observées dans la population générale dans cette classe d'âge (Obésité et surpoids : 17,5 to 19,1 % ; DREES, 2004, 2008). Cette prévalence de l'obésité a augmenté de manière marquée entre les catégories U13 et U15 (surpoids et obésité : + 33,1 pts.), alors que celle-ci est similaire chez les U11 et U13. Ces résultats sont confirmés par l'augmentation significative de l'IMG chez les joueurs en surpoids et obèses (U13 versus U15). Malgré ce constat, l'augmentation importante de la prévalence de la surcharge pondérale et de l'obésité lors de la transition de U13 à U15 doit être relativisée. En effet, l'augmentation de l'IMC s'expliquait par l'augmentation concomitante de la masse grasse et de la masse maigre chez les jeunes joueurs en surpoids ou obèses. En revanche, l'augmentation de l'IMC était principalement attribuée à l'augmentation de l'IMM chez les joueurs de poids normal. Nos résultats concernant l'évolution de l'IMM confirment ceux d'études antérieures indiquant que l'augmentation de l'IMC pendant la croissance est principalement attribuable à l'augmentation de la masse maigre chez les garçons adolescents. Il est important de souligner que 60 à 100% des jeunes joueurs obèses étaient dans le tertile le plus élevé pour l'IMG et l'IMM. Une valeur élevée de l'IMC surestimerait ainsi un excès d'adiposité chez un joueur ayant une masse maigre importante. Par ailleurs, 53% des jeunes joueurs considérés en surpoids et obèses selon l'IMC (critères IOTF) étaient en excès de masse grasse selon le seuil d'IMG au 75^{ème} percentile proposé par Weber et al. (2013).

Nos résultats ont mis évidence une évolution dissociée de l'IMC et l'IMG selon la catégorie d'âge et le niveau de corpulence. L'IMC semble être un outil envisageable pour évaluer l'excès de masse grasse chez les jeunes joueurs de rugby jusqu'à la catégorie U11. Cependant, sa pertinence est remise en cause pendant la phase pubertaire, et lorsque le niveau d'adiposité est faible. La grande disparité de combinaisons d'IMG et d'IMM pour un IMC donné corrobore sa faiblesse diagnostique pour caractériser un excès de masse grasse. Enfin, l'analyse des graphiques de la distribution de l'IMM et de l'IMG selon le modèle Hattori, à partir des 25 et 75^{ème} percentiles, présente une utilité pour déterminer et comparer la contribution de chacune des composantes de l'IMC de joueurs de même catégorie d'âge, ainsi que pour identifier le morphotype du joueur.

B. Focus la sur-estimation de la prévalence de la surcharge pondérale du jeune joueur de rugby à XV

L'objectif de ce travail s'inscrit dans la continuité de la précédente étude afin d'évaluer le niveau de sur-estimation de la prévalence de la surcharge pondérale du jeune joueur de rugby établie à partir des critères IOTF (étude 2).

Contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby

G. Lentin, P. Duché, J. Piscione, P. Pezery, J.J. Raymond, J. Gadead, R. Bou Nader, O. Gavarry

Science et Sports

(soumis en décembre 2020).

1. Introduction

La littérature scientifique fait état d'une prévalence de la surcharge pondérale (dont l'obésité) élevée chez les jeunes joueurs de rugby en France (33-47 %) (Gavarry et al., 2018). Cette prévalence, très largement supérieure à celle des enfants et adolescents de la population générale (17-20 %), soulève la question de la précision du diagnostic de la surcharge pondérale à partir de l'indice de masse corporelle (IMC), au sein de cette population. Cet indice, connu pour sa faible sensibilité au diagnostic de l'excès d'adiposité, ne permet pas la distinction entre la masse grasse et la masse maigre (Freedman et al., 2005). Ainsi, l'utilisation des deux indices composants l'IMC (indice de masse grasse IMG ; indice de masse maigre IMM) est recommandée pour évaluer l'excès de masse grasse chez l'enfant et l'adolescent (VanItallie et al. 1990), tout en prenant en considération les paramètres de croissance (taille et poids). Dans ce contexte, les objectifs de cette étude étaient d'analyser la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence, chez des jeunes joueurs de rugby en surpoids et obèses au cours de la période pubertaire, et de reconsidérer, *in fine*, la prévalence de la surcharge pondérale de cette même population.

2. Méthodologie

a) Population étudiée

Lieu : Clubs de la ligue PACA de rugby à XV.

Sujets : l'étude a été réalisée à partir de la même cohorte que l'étude 1. Cependant, seulement 340 jeunes joueurs de rugby à XV de la ligue Sud Provence-Alpes Côte d'Azur (9-14 ans) considérés en surcharge pondérale (surpoids ou obèses ; critères IOTF) ont été inclus dans cette étude. Afin d'étudier la contribution de l'IMM et d'IMG dans l'excès de corpulence, seuls les joueurs dont l'IMM et/ou l'IMG étaient supérieurs à leur seuil du 75^{ème} percentile (Weber et al., 2013) ont été retenus, soit 240 (U11 : 10,0 ± 0,6 ans, n = 73 ; U13 : 12,1 ± 0,5 ans, n = 90 ; U15 : 14,0 ± 0,5 ans, n = 77).

Sélection : pratique en club, avec le consentement du joueur et celui des représentants légaux.

Critères d'exclusion : aucun.

b) Méthode

L'évaluation de la composition corporelle et l'estimation de la prévalence du surpoids ont été effectuées comme décrites dans la méthodologie générale.

La contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence a été déterminée pour les joueurs en surpoids et obèses à partir de la proportion d'IMM et d'IMG au-delà de leur 75^{ème} percentile (P75) pour chacune des catégories d'âge de la population étudiée (Weber et al., 2013) selon les équations suivantes :

$$IMM_{\text{excès}} (\%) = \frac{IMM(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) - IMM_{P75}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})}{IMM(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) - IMM_{P75}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) + IMG(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}) - IMG_{P75}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})} \times 100$$

Et

$$IMG_{\text{excès}} (\%) = 100 - IMM_{\text{excès}} (\%)$$

La caractéristique de l'excès de corpulence a été déterminée par la prédominance d'un des deux compartiments (> 50 %).

La performance diagnostique de l'IMC a été évaluée à l'aide de sa sensibilité, de sa spécificité et de ses valeurs prédictives positives et négatives par rapport à la valeur seuil de référence du 75^{ème} percentile d'IMG. Les vrais positifs (VP) sont les joueurs pour lesquels l'IMC les caractérise en surpoids et pour lesquels leur valeur d'IMG est supérieure au 75^{ème} percentile. Les faux positifs (FP) sont les joueurs pour lesquels l'IMC les caractérise en surpoids et pour lesquels leur valeur d'IMG est inférieure au 75^{ème} percentile. De même les vrais négatifs (VN) sont les joueurs pour lesquels l'IMC les caractérise de poids normal et pour lesquels leur valeur d'IMG est inférieure au 75^{ème} percentile. Les faux négatifs (FN) sont les joueurs pour lesquels l'IMC les caractérise comme de poids normal et pour lesquels leur valeur d'IMG est supérieure au 75^{ème} percentile. La sensibilité (Se) du diagnostic de l'IMC est estimée par la proportion de vrais positifs chez les joueurs en surpoids. La spécificité (Sp) du diagnostic de l'IMC est estimée par la proportion de vrais négatifs chez les joueurs de poids normal. L'indice de Youden (= Se + Sp - 1) a été calculé, valant 1 quand l'examen diagnostique est parfait (Landais et al., 1994). La probabilité du test a priori de donner un résultat vrai a été calculé (= VP + VN / VP + VN + FP + FN). Les probabilités que le joueur soit réellement en surpoids (IMG > 75^{ème} percentile) si son IMC le caractérise comme en surpoids ou que le joueur soit réellement de poids normal

(IMG < 75^{ème} percentile) si son IMC le caractérise comme de poids normal sont traduites respectivement par les valeurs prédictives positives ($VPP = VP / (VP + FP)$) et négatives ($VPN = VN / (VN + FN)$). Les rapports de vraisemblance positif ($RVP = Se / (1 - Sp)$) et négatif ($1 - Se / Sp$) ont aussi été calculés pour permettre d'apprécier l'efficacité de l'IMC à discriminer un joueur de poids normal d'un joueur en surpoids.

c) L'analyse statistique

Les prévalences du surpoids et de l'obésité ont été calculées dans un intervalle de confiance de 95 %. Les différences ont été admises comme significatives au seuil de 5 % ($p < 0,05$). Un test χ^2 a été utilisé pour évaluer la distribution des surpoids et obèses par catégorie d'âge. La normalité des paramètres a été évaluée pour cette étude par le test de Shapiro. Une analyse de variance à 2 facteurs (ANOVA) a été utilisée afin de comparer la part d'IMM et d'IMG dans l'excès de corpulence ($IMM_{excès}$ et $IMG_{excès}$), entre les différentes catégories d'âge (U11, U13, U15), et entre les groupes (joueurs en surpoids versus obèses). Un test post-hoc de Fisher (LSD) a complété l'ANOVA lorsque l'effet était significatif.

3. Résultats

a) Prévalence du surpoids/obésité à partir de l'IMC (critères IOTF)

Comme décrit dans l'étude 1, la prévalence du surpoids et de l'obésité est similaire chez les U11 et U13. En revanche, celle-ci augmente de manière marquée entre U13 et U15 (surpoids : + 14 pts ; obésité : + 19,1 pts ; surpoids et obésité : + 33,1 pts ; tableau 21).

b) Caractéristiques de l'excès de corpulence.

Indépendamment de l'âge, la contribution d'IMM et d'IMG (%) dans l'excès de corpulence est significativement différente ($p < 0,05$) entre les joueurs en surpoids ($IMM : 47,7 \pm 45,9 \%$; $IMG : 52,3 \pm 45,9 \%$) et les joueurs obèses ($IMM : 39,5 \pm 29,5 \%$; $IMG : 60,5 \pm 29,5 \%$). Indépendamment de la sévérité de la corpulence (critère IOTF), la contribution d'IMM (%) dans l'excès d'IMC augmente significativement ($< 0,05$) entre U11 ($34,1 \pm 39,5 \%$) et U13 ($48,8 \pm 41,5 \%$), et entre U11 ($34,1 \pm 39,5 \%$) et U15 ($48,7 \pm 37,6 \%$). En revanche, la différence n'est pas significative entre U13 et U15. Par conséquent, la contribution d'IMG diminue significativement pour les mêmes périodes (tableau 21).

c) Performance de l'IMC comme diagnostic du surpoids (75^{ème} percentile en référence).

La probabilité *a priori* que l'IMC donne un résultat vrai est de 77 %. La sensibilité du diagnostic de l'IMC c'est-à-dire sa capacité à dépister un joueur en surpoids lorsque l'IMG est supérieur au 75^{ème} percentile est de 96 %. La spécificité du diagnostic de l'IMC c'est-à-dire sa capacité à dépister un joueur de poids normal lorsque l'IMG est inférieur au 75^{ème} percentile est de 71 %. L'indice de Youden d'une valeur de 0,66 signifie que le diagnostic du surpoids par l'IMC n'est pas parfait. La valeur prédictive positive de 0,53 témoigne une probabilité de 53 % d'être en surpoids (IMG > 75^{ème} percentile) lorsque l'IMC caractérise un surpoids. La valeur prédictive négative de 0,98 témoigne une probabilité de 98 % d'être de poids normal (IMG < 75^{ème} percentile) lorsque l'IMC caractérise un poids normal. Un rapport de vraisemblance positif calculé à 3,3 traduit que les joueurs en surpoids (IMG > 75^{ème} percentile) ont 3,3 plus de chance d'avoir un IMC qui les caractérise en surpoids que les joueurs de poids normal (IMG < 75^{ème} percentile). Un rapport de vraisemblance négative calculé à 0,06 traduit que les joueurs en surpoids (IMG > 75^{ème} percentile) ont 0,06 plus de chance d'avoir un IMC qui les caractérise de poids normal que les joueurs de poids normal (IMG < 75^{ème} percentile).

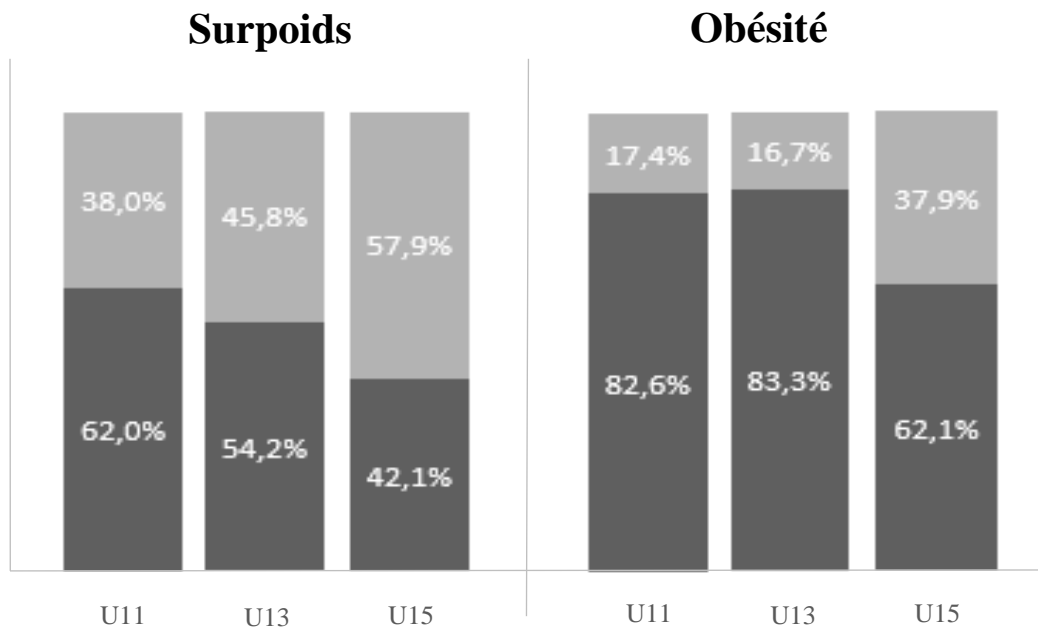
Tableau 21 : Prévalence du surpoids et contribution des tissus maigre et gras par catégorie d'âge chez le jeune joueur de rugby.

Critères IOTF	U11			U13			U15		
	Surpoids	Obésité	Surpoids/ obésité	Surpoids	Obésité	Surpoids/ obésité	Surpoids	Obésité	Surpoids/ obésité
Prévalence (%)	23.9	9.7	33.6	30.3	7.3	37.5	45.2	25.7	70.9
IMM_{excès} (%)	39.5	22.3	34.1	50.6	41.3	48.8	57.9	45.8	48.7
Moy ± ET	±44.6	±21.2	±39.5	±45.2	±20.6	±41.5	±50.7	±32.2	±37.6
IMG_{excès} (%)	60.5	77.7	65.9	49.4	58.7	51.2	42.1	54.2	51.3
Moy ± ET	±44.6	±21.2	±39.5	±45.2	±20.6	±41.5	±50.7	±32.2	±37.6

Note : $IMG_{excès}$: proportion d'IMG > 75^{ème} percentile ; $IMM_{excès}$: proportion d'IMM > 75^{ème} percentile ; Moy : moyenne ; ET : Ecart-Type ; $IMM_{excès}$ et $IMG_{excès}$ (%) : effet principal catégorie d'âge (U11, U13, U15) : $p < 0,05$; effet principal critères IOTF (Obésité, surpoids) : $p < 0,05$; Interaction : ns.

d) Proportion des joueurs selon les caractéristiques de l'excès de corpulence en fonction de l'âge

Le pourcentage de jeunes joueurs en surpoids pour lesquels l'excès de corpulence est lié majoritairement à du tissu maigre augmente régulièrement entre les catégories d'âge (U11 vs U13 : + 7,8 pts ; U13 vs U15 : + 12,1 pts). Chez le jeune obèse, ce pourcentage reste stable entre U11 et U13 et augmente nettement entre U13 et U15 (+ 21,2 pts ; figure 38).



Note : L'excès de corpulence est défini à partir des seuils du 75^{ème} percentile d'IMG et d'IMM. La caractéristique de l'excès de corpulence est liée à une prédominance de tissu maigre (gris clair) ou de tissus gras (gris foncé) (> 50 %).

Figure 38. Proportion des joueurs en surpoids et obèses selon les caractéristiques de l'excès de corpulence.

4. Discussion

Cette étude met en évidence la nécessité d'interpréter avec précaution la prévalence élevée du surpoids et de l'obésité chez le jeune joueur de rugby, établie à partir de l'IMC et des critères de l'IOTF.

En effet, notre étude montre que la contribution moyenne du tissu maigre dans l'excès de corpulence semble loin d'être insignifiante (44,3%) chez ces jeunes joueurs en surpoids et obèses âgés de 9 à 14 ans. La contribution moyenne du tissu maigre dans l'excès de corpulence devient même majoritaire chez les joueurs en surpoids des catégories U13 et U15. L'imprégnation hormonale au cours de la puberté, favorable à la synthèse de la masse maigre et à la réduction de la masse grasse chez le garçon (Freedman et al., 2005), ainsi que l'augmentation de la masse maigre pour supporter un excès pondéral dans une pratique telle que le rugby (Gavarry et al., 2018), permettraient d'expliquer en partie ces résultats. En tenant compte des joueurs dont l'excès de corpulence (> 75^{ème} percentile) est lié exclusivement à un excès d'IMM (100%), la surestimation moyenne de la prévalence du surpoids et de l'obésité

selon les critères IOTF pourrait être estimée à près de 20% sur la classe d'âge 9-14 ans. Néanmoins, il serait nécessaire d'affiner ces résultats à l'aide d'une méthode à trois compartiments, afin d'appréhender l'évolution de la masse osseuse par rapport à celle du tissu musculaire. En revanche, dans une logique préventive, 21% des jeunes joueurs en surpoids et obèses auraient un excès de corpulence lié exclusivement à un excès d'IMG (100%). Cela témoigne que notre méthode d'évaluation pourrait permettre de cibler les joueurs réellement à risque pour lesquels une prise en charge nutritionnelle serait pertinente à mettre en œuvre.

L'analyse de la performance diagnostique rend compte que l'IMC a quasiment 1 chance sur 3 de caractériser à tort un joueur en surpoids. Cela vient corroborer notre constat s'agissant de la surestimation de la prévalence de la surcharge pondérale chez les jeunes joueurs de rugby. Après l'âge de 11 ans, il semble ainsi approprié d'abandonner l'utilisation de l'IMC et de préférer une évaluation de ses deux composantes (IMG et IMM).

C. Suggestion d'un modèle alternatif pour regrouper les jeunes joueurs de rugby à XV par rapport à leur composition corporelle

Les objectifs de ce travail sont de comparer deux modèles de catégorisation (âge *versus* masse corporelle) en prenant en compte la composition corporelle des jeunes joueurs de rugby et d'identifier des atypicités morphologiques par l'utilisation du modèle graphique d'Hattori (étude 3).

A comparison of an alternative weight-grading model against chronological age group model for the grouping of schoolboy male rugby players

G. Lentin, S. Cumming, J. Piscione, P. Pezery, M. Bouchouicha, J. Gadea, J.J. Raymond, P. Duché, O. Gavarry

Frontiers physiology

Lentin, G., Cumming, S., Piscione, J., Pezery, P., Bouchouicha, M., Gadea, J., Raymond, J. J., Duché, P., & Gavarry, O. (2021). A Comparison of an Alternative Weight-Grading Model Against Chronological Age Group Model for the Grouping of Schoolboy Male Rugby Players. Frontiers in physiology, 12, 670720. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.670720>

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, une évolution significative staturo-pondérale des joueurs de rugby à XV a été constatée. La tendance du joueur " plus lourd et plus grand " est observée chez le jeune joueur de rugby (Sedeaud et al., 2013). Ce changement peut s'expliquer par un certain nombre de facteurs, notamment par les avancées importantes dans les processus d'identification et de sélection des joueurs, un investissement et des ressources techniques meilleurs dans l'accompagnement à la compétition des jeunes joueurs, et l'augmentation séculaire de la taille et du poids observée au sein de la jeune population générale durant les dernières décennies (Bartkowiak et al., 2020). Dans des sports tels que le rugby, les jeunes joueurs peuvent souhaiter prendre de la masse corporelle pendant la phase de croissance, notamment de la masse musculaire, pour améliorer la force, la puissance et les performances de vitesse (Carl et al., 2017). L'augmentation de la masse maigre et de la masse corporelle pourraient cependant augmenter les forces d'impact subies lors du plaquage (Pain et al., 2008) et de la mêlée (Milburn, 1990), et pourrait entraîner par conséquent une augmentation de l'incidence des blessures et de leur gravité. Le rugby à XV est un sport de collision avec une incidence importante de blessures, voire la plus élevée lorsque ces dernières sont associées à un arrêt de la pratique, comparativement à d'autres sports chez l'adolescent (Bleakley et al., 2011). Ce risque de blessure peut être influencé par les nombreux changements et la grande variance staturo-pondérale qui accompagnent la poussée de croissance pubertaire (Caine et al., 2014). Les garçons qui arrivent à maturité plus tôt que leurs pairs bénéficient d'une poussée de croissance plus précoce, et souvent plus intense, ce qui se traduit par de nets avantages en termes staturo-pondéral, de force, de vitesse, de puissance. Les différences athlétiques liées à la maturité apparaissent à partir de 11 ans environ, et se maintiennent jusqu'à la fin de l'adolescence, avant de s'atténuer au début ou au milieu de l'âge adulte. Ainsi, des différences majeures ont été observées en ce qui concerne la masse corporelle et la composition corporelle (Gavarry et al., 2018), la maturité (Nutton et al., 2012), et les qualités physiques de force et de puissance (McCunn et al., 2017 ; Perroni et al., 2018) entre les jeunes joueurs de la même catégorie d'âge pendant la puberté. Dans le rugby à XV, une attention toute particulière est accordée à la minimisation et au contrôle du risque de blessure, et à la promotion de l'équité en compétition dans les catégories de jeunes. Ainsi, la classification des jeunes joueurs de rugby par âge est un sujet de débat dans certaines fédérations de rugby, avec une prise de

conscience croissante de la nécessité de faire évoluer le classement par âge (Patton et al., 2016). En plus de ces préoccupations, il existe un argument selon lequel les catégories basées sur des caractéristiques staturο-pondérales plutôt que sur l'âge peuvent aider à résoudre l'inéquité « compétitive », et présenter aux joueurs à développement précoce ou tardif des enjeux et des opportunités d'apprentissage plus adaptés à leur développement. Plusieurs auteurs ont proposé de croiser la catégorisation par l'âge de référence avec d'autres méthodes, telles que les classifications basées sur les compétences (McCoy et al., 1984), la masse corporelle utilisée par la fédération Néo-Zélandaise de rugby (World Rugby, 2016), la maturation biologique (Cumming et al., 2017), ou encore d'autres stratégies plus holistiques et hybrides (Tucker et al., 2016). Il convient de noter que ces stratégies de classification ne doivent pas nécessairement remplacer la catégorisation par l'âge, mais plutôt être considérées comme des critères additionnels, contribuant également à diversifier les programmes d'apprentissage rugbystique. Les caractéristiques anthropométriques, telles que la masse corporelle, peuvent servir de critères objectifs et pratiques pour la classification des jeunes joueurs de rugby (Patton et al., 2016). Bien que la catégorisation par la masse corporelle soit censée réduire la variabilité staturo-pondérale, à ce jour, aucune étude n'a été menée pour proposer un modèle de catégorisation par celle-ci. De plus, pour un indice de masse corporelle (IMC) donné correspondent différentes contributions de la masse grasse et de la masse maigre, et différentes corrélations existent entre l'IMC et les autres indices de composition corporelle au cours de la puberté (Gavarry et al., 2018). Il est donc nécessaire d'inclure la composition corporelle et le niveau de corpulence établi par l'IMC dans l'analyse du modèle de catégorisation par la masse corporelle. Dans ce débat actuel de catégorisation par la masse corporelle, Lambert et al. (2010) ont également suggéré qu'il n'est pas réaliste de classer les joueurs uniquement en fonction de celle-ci sans tenir compte des paramètres de composition corporelle. À la lumière de la discussion précédente, l'objectif de cette étude était de comparer les caractéristiques anthropométriques des joueurs classés à partir d'un modèle basé sur la masse corporelle avec le modèle basé sur l'âge, en tenant compte du niveau de corpulence identifié par l'IMC, et de la contribution de l'IMG et de l'IMM dans les changements d'IMC. Cette étude visait également à identifier les morphotypes standardisés représentés sur le modèle graphique d'Hattori (Hattori et al., 1997) selon les différentes catégories de masse corporelle. Nous avons émis l'hypothèse que

le modèle de classification par la masse corporelle diminue les variations de masse corporelle, de masse grasse et de masse maigre entre les jeunes joueurs.

2. Méthodologie

a) Population étudiée

Lieu : Clubs de la ligue PACA de rugby à XV.

Sujets : joueurs de rugby à XV ; sexe masculin ; $n = 736$ dont 246 joueurs en U11 avec un âge moyen de $10,0 \pm 0,6$ ans ; 260 joueurs en U13 avec un âge moyen de $12,1 \pm 0,5$ ans ; 230 joueurs en U15 avec un âge moyen de $14,0 \pm 0,5$ ans.

Sélection : pratique en club, avec le consentement du joueur et celui des représentants légaux

Critères d'exclusion : aucun

b) Méthode

L'évaluation de la composition corporelle, l'estimation de la prévalence du surpoids, la classification par l'âge ainsi que celle par la masse corporelle ont été effectuées comme décrites dans la méthodologie générale.

L'utilisation du modèle Hattori a permis de projeter simultanément les valeurs d'IMG et d'IMM selon le niveau de corpulence (traduit par l'IMC) pour chacune des catégories d'âge et des catégories de masse corporelle.

L'identification des morphotypes extrêmes comme décrite dans la méthodologie générale est basée sur les seuils d'IMG et d'IMM (moyenne \pm écart-type) et par conséquent sur les neuf subdivisions produites et intégrées dans la modèle graphique d'Hattori : « adipo-solid » (AS), « lean-solid » (LS), « adipo-slender » (ASl) and « lean-slender » (LSl).

Le champ de dispersion normale de l'IMG et l'IMM dans les deux modalités de catégorisation des joueurs (par l'âge et par la masse corporelle) a été circonscrit dans une ellipse bivariée normale de confiance à 95 % afin de clarifier la forme de la dispersion de chaque indice corporel par rapport à l'autre. Les ellipses et leur centroïde ont été modélisés comme décrit dans la méthodologie générale.

Le sous ou surclassement des joueurs est effectué lorsque la masse corporelle du joueur est respectivement inférieure ou supérieure à la fourchette des valeurs de masse corporelle déterminées à partir des 25^{ème} et 75^{ème} percentiles (harmonisés) du groupe d'âge correspondant ($U_{age} = W_{x-y}$) comme décrit dans la méthodologie générale.

Soit en U11 (25^{ème} percentile : 32,4 kg et 75^{ème} percentile : 44,1 kg), U13 (25^{ème} percentile : 39,7 kg et 75^{ème} percentile : 54,9 kg) et U15 (25^{ème} percentile : 61 kg et 75^{ème} percentile : 79,9 kg). Les catégories de poids suivantes ont été créées : W30-44,9 (de 30 à 44,9 kg ; $10,4 \pm 1,1$ ans ; $n = 268$), W45-59,9 (de 45 à 59,9 kg ; $11,7 \pm 1,5$ ans ; $n = 194$), et W60-79,9 (de 60 à 79,9 kg ; $13,6 \pm 1,2$ ans ; $n = 167$).

Le temps passé à pratiquer une activité sportive (activités physiques scolaires, entraînements de rugby) a été également évalué à partir d'un questionnaire. Les valeurs sont présentées ci-dessous :

- Temps d'activité physique scolaire : U11 : $3,0 \pm 0,0$; W30-44,9 : $3,5 \pm 0,5$; U13 : $4,0 \pm 0,0$; W45-59,9 : $3,7 \pm 0,6$; U15 : $2,9 \pm 1,0$, W60-79,9 : $3,0 \pm 1,0$ heures/semaine.
- Temps de pratique du rugby : U11 : $3,8 \pm 0,4$; W30-44,9 : $3,9 \pm 0,5$; U13 : $4,1 \pm 0,6$; W45-59,9 : $4,3 \pm 0,8$; U15 : $5,2 \pm 1,2$; W60-79,9 : $4,9 \pm 1,2$ heures/semaine.

c) *L'analyse statistique*

La prévalence du surpoids et la prévalence de l'obésité ont été calculées dans un intervalle de confiance de 95 %. Les différences ont été admises comme significatives au seuil de 5 % ($p < 0,05$). Un test χ^2 a été utilisé pour évaluer la distribution des joueurs en surpoids et obèses par catégorie d'âge. La normalité des paramètres a été évaluée par le test de Kolmogorov-Smirnov. La variabilité des caractéristiques anthropométriques de chaque groupe a été analysée par le coefficient de variation (CV) = Déviation standard / moyenne $\times 100$. Un test F a été utilisé pour comparer les coefficients de variations. Une ANOVA (à une voie, test post hoc de Fisher LSD) a été utilisée pour comparer les valeurs des caractéristiques anthropométriques entre chaque groupe (U11 vs. W30-44,9 ; U13 vs. W45-59,9 ; and U15 vs. W60-79,9). La taille de l'effet a été calculé en utilisant le d de Cohen : faible ($d = 0,2$), moyen ($d = 0,5$), and fort ($d > 0,8$). L'analyse statistique des ellipses normales bivariées et leur centroïde a été réalisée par XLSTAT 2020.2.2 (by Addinsoft). La procédure lambda de Wilks a été utilisée pour comparer les différences entre les centroïdes des deux modèles de classification (par l'âge et par la masse

corporelle) à partir des coordonnées des moyennes arithmétiques d'IMG et d'IMM. La box procédure a été utilisée pour comparer les différences de dispersion des valeurs de la distribution d'IMG et d'IMM par rapport à leur centroïde entre les deux modèles de classification.

3. Résultats

a) Comparaison entre les deux modèles de classification (âge versus la masse corporelle)

La comparaison des caractéristiques anthropométriques entre les modèles de classification par l'âge *versus* par la masse corporelle est présentée dans le tableau 22. Du fait des seuils au 25^{ème} et 75^{ème} percentile, des joueurs ont été exclus (< W30-44,9 : n = 34 ; >W60-79,9 : n = 64) dans le modèle de classification basé sur la masse corporelle.

Entre U11 vs. W30-44,9. Aucune différence significative n'a été observée pour les valeurs moyennes de masse corporelle et d'IMM. Cependant la valeur moyenne de la taille (+2,1 cm / + 1,5 % ; $p < 0,01$; $d = 0,29$) était significativement plus élevée chez les W30-44,9 que chez les U11 et inversement les valeurs moyennes d'IMC (- 1 kg.m⁻² / - 5,2 % ; $p < 0,001$, $d = - 0,37$) et d'IMG (- 0,8 kg.m⁻² / - 18,2 % ; $p < 0,001$; $d = - 0,40$) étaient significativement plus basses. Lorsque la stratégie de classification par la masse corporelle est comparée à celle par l'âge, une réduction significative ($p < 0,001$) des coefficients de variation de la masse corporelle, de l'IMC, de l'IMG, de l'IMM est observée hormis pour la taille ($p = 0,21$). La taille de l'effet de la réduction de la variance a été caractérisé de faible à modéré (pourcentage de réduction : masse corporelle = 54,4 % ; IMC = 41,4 % ; IMG = 38,2 % ; IMM = 18,8 %).

Entre U13 vs. W45-59,9. Les valeurs moyennes de masse corporelle (+ 4,0 kg / + 8,4 % ; $p < 0,001$; $d = 0,42$), de taille (+ 1,7 cm / + 1,1 % ; $p < 0,05$; $d = 0,19$), d'IMC (+ 1,6 kg m⁻² / + 7,9 % ; $p < 0,001$; $d = 0,51$), d'IMG (+ 1,0 kg.m⁻² / + 21,3 % ; $p < 0,001$; $d = 0,48$) et d'IMM (+ 0,5 kg.m⁻² / +3,2 % , $p < 0,001$, $d = 0,31$) sont significativement plus élevées chez les W45-59,9 que chez les U13. Lorsque la stratégie de classification par la masse corporelle est comparée à celle par l'âge, une réduction significative ($p < 0,001$) des coefficients de variation de la masse corporelle, de l'IMC et de l'IMM est observée hormis pour la taille ($p = 0,07$) et l'IMG ($p = 0,25$). La taille de l'effet de la réduction de la variance a été caractérisé de faible à

modéré (pourcentage de réduction : masse corporelle = 64,6 % ; IMC = 32,3 % ; IMM = 29,6 %).

Entre U15 vs. W60-79,9. Les valeurs moyennes de masse corporelle (- 4,0 kg / - 5,6 % ; $p < 0,001$; $d = - 0,35$), d'IMC (- 0,9 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ / - 3,6 % ; $p < 0,01$; $d = - 0,25$), d'IMM (- 0,6 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ / - 3,2 % ; $p < 0,01$; $d = - 0,34$) sont significativement plus basses chez les W60-79.9 que chez les U15. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les valeurs moyennes de la taille et de l'IMG. Lorsque la stratégie de classification par la masse corporelle est comparée à celle par l'âge, une réduction significative ($p < 0,01$) des coefficients de variation de la masse corporelle, de l'IMC, de l'IMG et de l'IMM est observée hormis pour la taille ($p = 0,38$). La taille de l'effet de la réduction de la variance a été caractérisé de faible à modéré (pourcentage de réduction : masse corporelle = 57,9 % ; IMC = 37,3 % ; IMG = 20,7 % ; IMM = 32,4 %).

Tableau 22 : Comparaison des caractéristiques anthropométriques des jeunes joueurs de rugby classés par l'âge vs par la masse corporelle.

	U11	W30-44.9	U13	W45-59.9	U15	W60-79.9
	(n=246)	(n=268)	(n=260)	(n=194)	(n=230)	(n=167)
Poids (kg)						
Moy±ET	39.0 ± 9.2	37.5 ± 4.0	47.8 ± 11.6	51.8 ± 4.4***	71.8 ± 14.0	67.8 ± 5.6***
Médiane	37.1	37.5	46.1	51.2	69.3	67.0
Etendue	[22.7; 87.2]	[30.2; 45.0]	[27.6; 99.4]	[45.0; 59.9]	[43.0; 127.3]	[60.1; 80]
CV (%)	23.7	10.8***	24.3	8.6***	19.5	8.2**
Taille (cm)						
Moy±ET	141.4 ± 7.4	143.5 ± 6.8**	152.6 ± 9.2	154.3 ± 8.1*	168.7 ± 7.8	167.2 ± 8.1
Médiane	141.0	143.0	152.5	154.4	169.0	168.0
Etendue	[122.4; 162.0]	[126.4; 163.5]	[133.0; 186.0]	[134.5; 176.0]	[147.0; 190.0]	[138.6; 190.0]
CV (%)	5.2	4.8	6.0	5.3	4.6	4.9
IMC (kg.m⁻²)						
Moy±ET	19.3 ± 3.3	18.3 ± 1.8***	20.3 ± 3.4	21.9 ± 2.5***	25.2 ± 4.2	24.3 ± 2.5**
Médiane	18.5	18.0	19.9	21.6	18.0	24.4
Etendue	[14.2; 34.5]	[14.4; 26.5]	[12.8; 34.0]	[16.0; 34.5]	[14.4; 42.0]	[19.0; 31.6]
CV (%)	16.9	9.9***	16.7	11.3***	16.6	10.4**
IMG (kg.m⁻²)						
Moy±ET	4.4 ± 2.5	3.6 ± 1.3***	4.7 ± 1.9	5.7 ± 2.1***	6.7 ± 2.4	6.3 ± 1.8
Médiane	3.5	3.3	4.3	5.3	6.5	6.3
Etendue	[1.0; 16.8]	[1.3; 9.2]	[1.6; 12.2]	[2.2; 16.8]	[1.8; 15.4]	[3.1; 12.1]
CV (%)	57.8	35.7***	40.9	37.4	36.2	28.7**
IMM (kg.m⁻²)						
Moy±ET	14.9 ± 1.3	14.6 ± 1.0	15.6 ± 1.8	16.1 ± 1.3***	18.5 ± 2.0	17.9 ± 1.3**
Médiane	14.7	14.5	15.3	16.0	18.1	17.9
Etendue	[9.9; 19.2]	[9.9; 18.5]	[11.2; 24.4]	[13.5; 24.4]	[12.6; 26.6]	[14.8; 22.3]
CV (%)	8.5	6.9***	11.5	8.1***	10.8	7.3**

Note: IMC: indice de masse corporelle; IMG: indice de masse grasse; IMM: indice de masse maigre; CV: coefficient of variation; Moy±ET: moyenne ± écart-type. Analyse de la variance (one-way ANOVA) pour le poids ($p < 0.001$, $\eta^2 p$: 0.67), taille ($p < 0.001$, $\eta^2 p$: 0.63), IMC ($p < 0.001$, $\eta^2 p$: 0.40), IMG ($p < 0.001$, $\eta^2 p$: 0.22) et IMM ($p < 0.001$, $\eta^2 p$: 0.48). Différences significatives par rapport au modèle de l'âge (comparaison post hoc Fisher's LSD): * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

b) Sous ou surclassement des joueurs après classement par le poids

Le tableau 23 montre le pourcentage de joueurs dans les catégories de masse corporelle issues des différentes catégories d'âge.

Tableau 23 : Distribution des joueurs classés par l'âge au sein de chacune des catégories de masse corporelle.

	U11		U13		U15	
	n	%	n	%	n	%
W30-44.9	161	60	106	39.6	1	0.4
W45-59.9	47	24.2	108	55.7	39	20.1
W60-79.9	7	4.2	30	18	130	77.8

Les joueurs sous-classés ou sur-classés respectivement en dessous de W30-44,9 et au-dessus de W60-79,9 ne sont pas pris en compte. Après l'application du classement par la masse corporelle, 60 % des U11, 55,7 % des U13 et 77,8 % des U15 restent dans la catégorie correspondant à la même catégorie d'âge. Cependant, 39,6 % des U13, et quelques U15 (0.4 %) sont sous-classés dans la catégorie W30-44,9 et 20,1 % des U15 le sont chez les W45-59,9. Egalement, 24,2 % des U11 sont sur-classés chez les W45-59,9, et 4,2 % des U11 et 18 % des U13 sont sur-classés chez les W60-79,9.

Le changement de catégorie du modèle de classification par l'âge vers celui de la classification par la masse corporelle (sous et surclassement) dépendant du niveau de corpulence (traduit par l'IMC) est présenté par la figure 39.

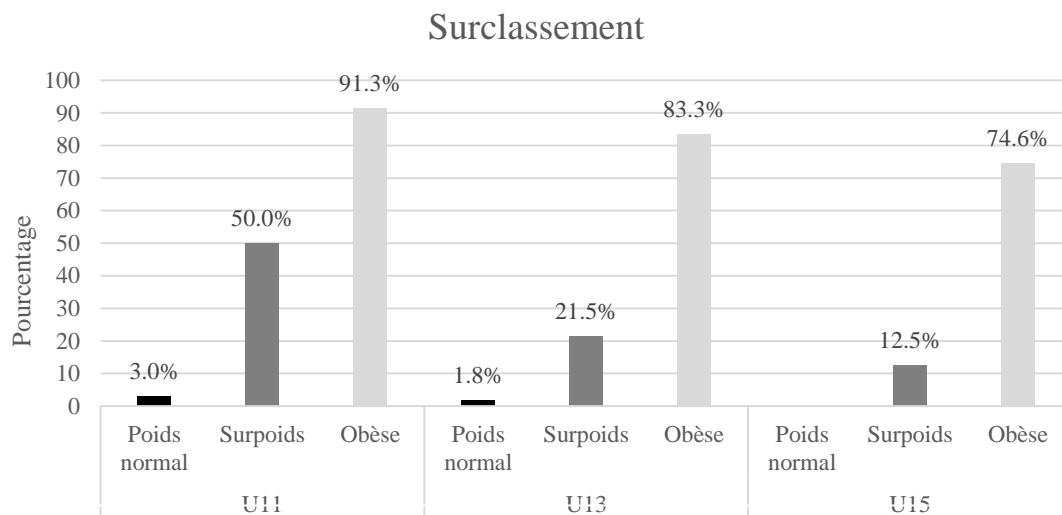
Chez les joueurs de poids normal, 18,2 % des U11 et 6,7 % des U13 ont été sous-classés en deça de la catégorie des W30-44,9. De plus, 62 % des U13 ont été sous-classés chez les W30-44,9. Seulement 1,5 % des U15 ont été sous-classés chez les W30-44,9 et 43,9 % chez les W45-59,9. Un très faible pourcentage de U11 (3 %) et de U13 (1,8 %) ont été surclassés respectivement chez les W45-59,9 et chez les W60-79,9.

Chez les joueurs en surpoids, un faible pourcentage de U13 (6,3 %) et de U15 (11,5 %) ont été respectivement sous-classés chez les W30-44,9 et chez les W45-59,9. La moitié des U11 et

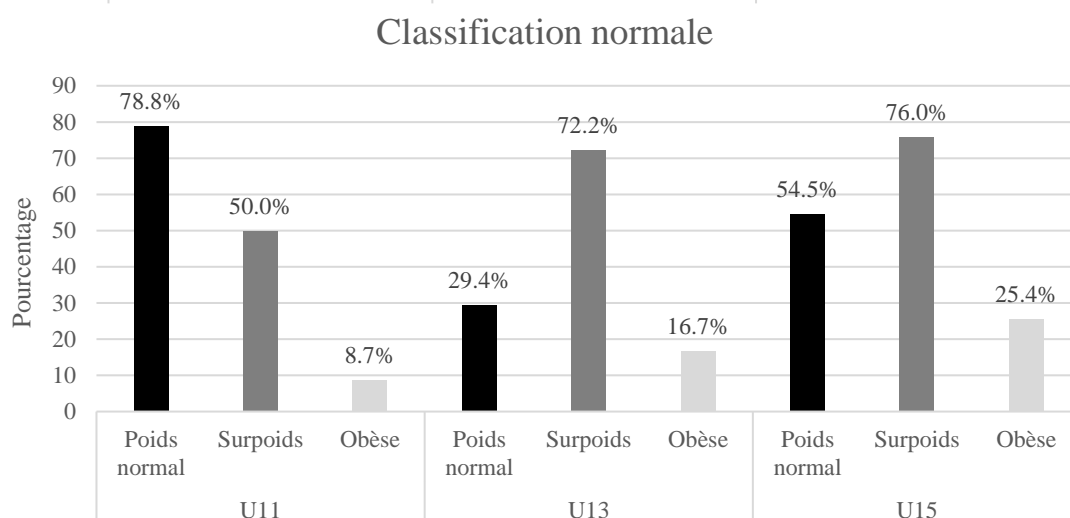
21,5 % des U13 ont été respectivement surclassés chez les W45-59,9 et chez les W60-79,9. Aussi, 12,5 % des U15 ont été surclassés au-delà des W60-79,9.

Chez les joueurs obèses, 30,4 % des U11 et 55,6 % des U13 ont été surclassés chez les W60-79,9. De plus, 4,3 % des U11, 27,8 % des U13 et 74,6 % des U15 ont été surclassés au-delà des W60-79,9.

A



B



C

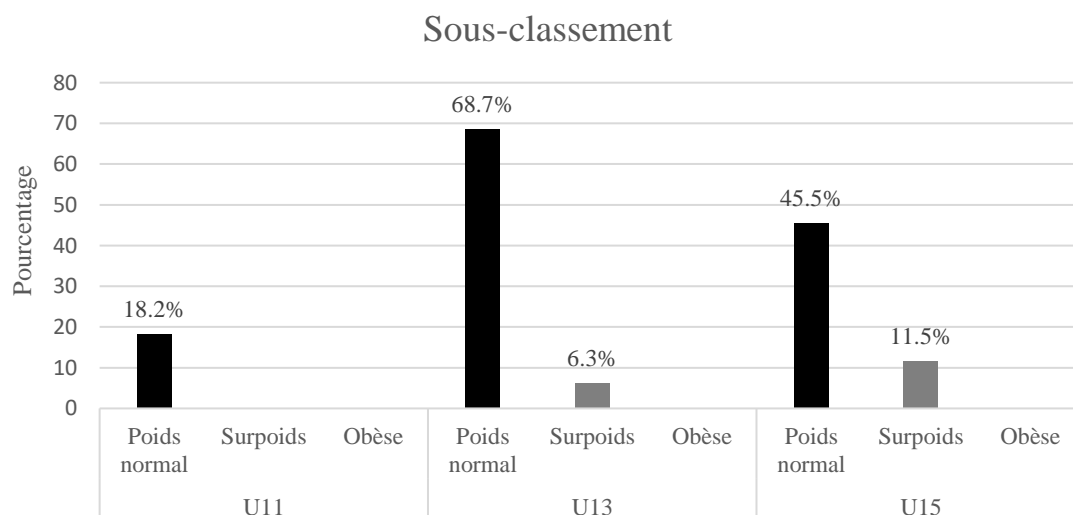
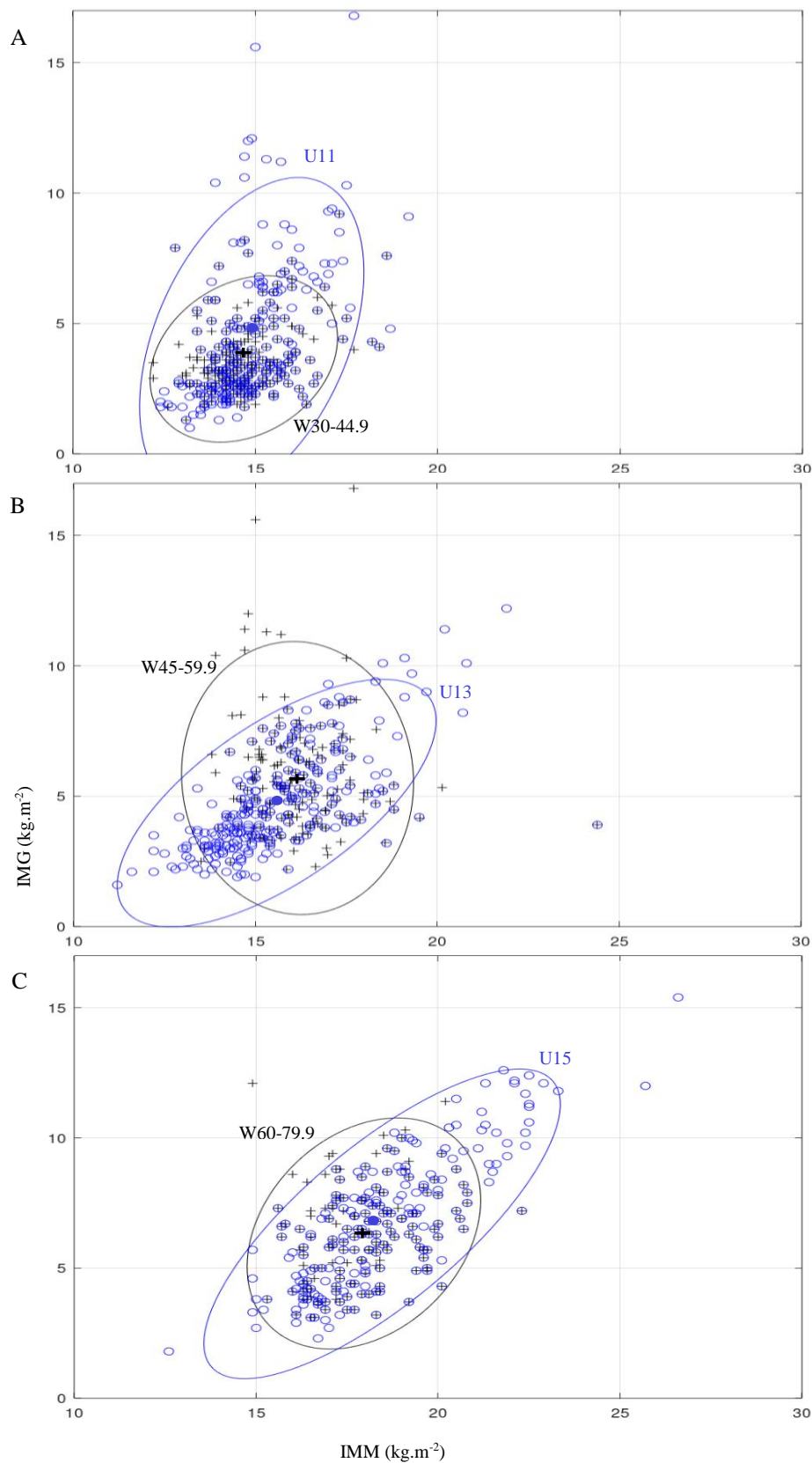


Figure 39. (A-C). Changement de catégorie de la classification par l'âge après classification par la masse corporelle exprimé en pourcentage dépendant du niveau de corpulence (poids normal, surpoids, obèse).

La figure 40 montre la comparaison de la distribution des points d'IMG et d'IMM entre le modèle de classification par l'âge et celui de la classification par la masse corporelle. Bien que les ellipses soient chevauchées, leur forme est spécifique à chacun des modèles de classification. Une forme plus sphérique des ellipses a été observée dans chacune des catégories de masse corporelle résultant d'une diminution de la relation entre l'IMG et l'IMM. Plus précisément, l'IMM était modérément à fortement associé avec l'IMG dans le modèle de l'âge (U11 : $r = 0,80$, $p < 0,001$; U13 : $r = 0,66$, $p < 0,001$; U15 : $r = 0,77$, $p < 0,001$). Contrairement, dans le modèle de classification par la masse corporelle, aucune corrélation n'a été trouvée entre l'IMG et l'IMM chez les W45-59,9 et de faibles associations chez les W30-44,9 ($r = 0,25$; $p < 0,001$) et chez les W60-79,9 ($r = 0,29$; $p < 0,001$).



Note : IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse

Figure 40. (A-C). Diagramme de dispersion d'IMM/IMG (cercle bleu et croix noire pour la classification par l'âge et par la masse corporelle respectivement). Ellipses bivariées normales, 95 % ; bleue et noire pour la classification par l'âge et par la masse corporelle).

La procédure Lambda de Wilks indiquait une différence significative des centroïdes d'IMG/IMM entre chaque modèle de classification (U11 vs. W30-44,9 : $p < 0,0001$; $F = 9,13$; $\lambda = 0,97$; U13 vs. W45-59,9 : $p < 0,0001$; $F = 14,26$; $\lambda = 0,94$; U15 vs. W60-79,9 : $p < 0,02$; $F = 3,94$, $\lambda = 0,98$). La Box procédure indiquait aussi une différence significative entre les déviations de la distribution de l'IMG/IMM par rapport à leur centroïde entre chaque modèle de classification (U11 vs. W30-44,9 : $p < 0,0001$, $F = 36,86$; $M = 111,05$; U13 vs. W45-59,9 : $p < 0,0001$; $F = 32,43$; $M = 97,76$; U15 vs. W60-79,9 : $p < 0,0001$; $F = 19,32$, $M = 58,28$).

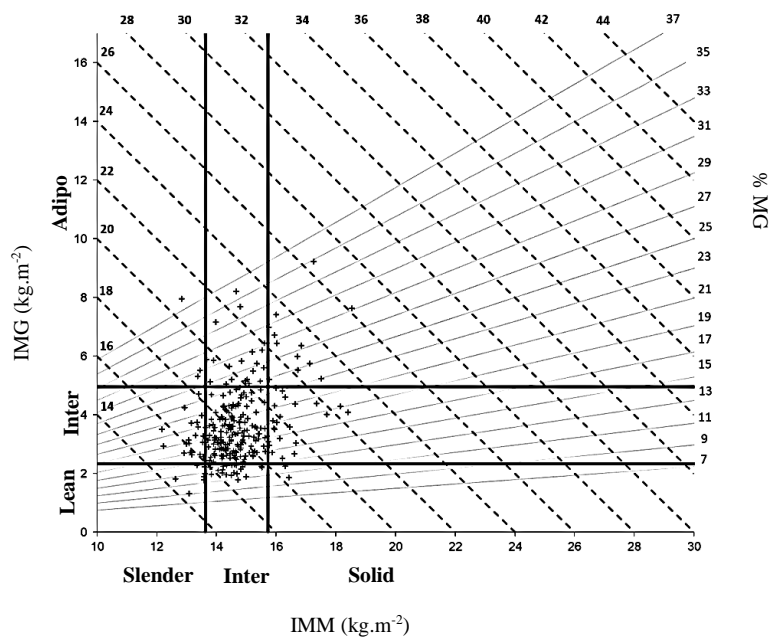
c) Différents morphotypes à partir du modèle graphique d'Hattori après classification par la masse corporelle

La figure 41 montre les différents morphotypes depuis le modèle graphique d'Hattori après classification par la masse corporelle pour la catégorie W30-44,9 (pour les figures des catégories W45-59,9 et W60-79,9, cf. annexe 3).

Pour l'IMM, les joueurs dits « minces » (lean) étaient identifiés en dessous de 13,6 ; 14,9 ; et 16,6 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; dits « intermédiaires » entre 13,6 ; 14,9 ; et 16,6 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ et 15,7 ; 17,5 ; et 19,3 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; et dits « solides » au-dessus de 15,7 ; 17,5 ; et 19,3 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ respectivement chez les W30-44,9 ; W45-59,9 ; et les W60-79,9.

Pour l'IMG, les joueurs dits « maigres » (slender) étaient identifiés en dessous de 2,3 ; 3,6 ; et 4,5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; dits « intermédiaires » entre 2,3 ; 3,6 ; 4,5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ et 4,9 ; 7,8 ; 8,1 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$; et dits « gras » (adipo) au-dessus de 4,9 ; 7,8 ; et 8,1 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ respectivement chez les W30-44,9 ; W45-59,9 ; et les W60-79,9.

Quatre W30-44,9 (trois U11 et un U13), six W45-59,9 (six U11), et trois W60-79,9 (deux U11 et un U13) avaient un morphotype « adipo-slender ». Quatorze W30-44,9 (dix U11 et quatre U13), quatre W45-59,9 (deux U11, un U13, et un U15), et cinq W60-79,9 (un U13 et quatre U15) avaient un morphotype « adipo-solid ». Cinq W30-44,9 (quatre U11 et un U15), cinq W45-59,9 (un U11, trois U13, et un U15), et douze W60-79,9 (un U13 and onze U15) avaient un morphotype « lean-slender ». Deux W30-44,9 (deux U11), un W45-59,9 (U13), et un W60-79,9 (U15) avaient un morphotype « lean-solid ».



Note: IMG: indice de masse grasse; IMM: indice de masse maigre. Les joueurs avec des atypicités morphologiques dans chaque catégorie de masse corporelle. W30-44,9, adipo-slender: U11 (n = 3), U13 (n = 1); adipo-solid: U11 (n = 10), U13 (n = 4); lean-slender: U11 (n = 4), U15 (n = 1); lean-solid: U11 (n = 2). W45-59,9, adipo-slender: U11 (n = 6); adipo-solid: U11 (n = 2), U13 (n = 1), U15 (n = 1); lean-slender: U11 (n = 1), U13 (n = 3), U15 (n = 1); lean-solid: U13 (n = 1). W60-79,9, adipo-slender: U11 (n = 2), U13 (n = 1); adipo-solid: U13 (n = 1), U15 (n = 4); lean-slender: U13 (n = 1), U15 (n = 11); lean-solid: U15 (n = 1).

Figure 41. Distribution des jeunes joueurs (W30-44,9) de rugby en fonction des différents morphotypes à partir du modèle graphique d'Hattori.

4. Discussion

La stratégie de catégorisation par la masse corporelle semble être efficace pour limiter la dispersion des variables de composition corporelle entre les jeunes joueurs de rugby. Cependant, il persiste des atypicités morphologiques, encore appelées « morphotypes extrêmes » (10%). Néanmoins, cette modalité de classement conserve l'identité des catégories d'âge, puisque près de 60 à 80% des joueurs classés par la masse corporelle se trouvaient dans une catégorie correspondant à leur catégorie d'âge, hormis pour les U13 et les joueurs obèses. Il est de même important de noter que la valeur moyenne de l'âge chronologique pour les groupes de masse corporelle était similaire à celle des groupes d'âge (W30-44,9 vs. U11 : +0,6 ; W45-59,9 vs. U13 : +0,1 ; W60-79,9 vs. U15 : -0,4 ans). L'originalité de cette étude résidait d'une part dans le choix de notre méthode de classification par la masse corporelle à partir des percentiles de la distribution d'IMM et d'IMG de la population d'appartenance (et non de la population générale au risque de sous-estimer les caractéristiques anthropométriques), et d'autre part dans l'interprétation graphique bi-dimensionnelle complémentaire et indispensable

de la composition corporelle. Cette représentation graphique d'Hattori contribuait aussi à la détection de la minorité des jeunes joueurs aux morphotypes atypiques nécessitant entre autres des prises en charge adaptées.

D. Prédiction d'indices corporels et de morphotypes extrêmes à partir de caractéristiques anthropométriques.

L'objectif de ce travail est d'identifier des modèles de prédiction intégrant une ou plusieurs caractéristiques anthropométriques susceptibles de prédire des indices corporels et un morphotype extrême afin de proposer une stratégie de dépistage de terrain fiable et rapide.

(étude 4).

Morphotype du jeune joueur de rugby : nouveau modèle prédictif.

G. Lentin, J. Piscione, P. Pezery, J.J. Raymond, J. Gadea, R. Bou Nader, P. Duché, O. Gavarry

(Non soumis à publication – prévue Janvier 2022).

1. Introduction

La prévalence de la surcharge pondérale chez le jeune joueur de rugby à partir de l'indice de masse corporelle (IMC) a été estimée à 46,6% dont 32,8% de jeunes joueurs en surpoids et 13,8% obèses (Gavarry et al., 2018). Cette prévalence a toutefois été considérée comme surévaluée, notamment en raison d'une contribution importante de la masse maigre dans l'excès de masse corporelle au cours de la croissance du jeune joueur de rugby (étude 2). Le constat d'une contribution importante de la masse maigre dans la masse corporelle du sportif (Jonnalagadda et al., 2004), d'un modelage corporel spécifique au sport pratiqué (Tsunawake et al., 1994), et de la faiblesse de l'IMC dans l'évaluation de l'excès d'adiposité (Petri et al., 2020), ont suscité la recherche de méthode pour discriminer l'origine de l'excès de masse corporelle chez le jeune sportif (Mascherini et al., 2019). La préconisation d'une interprétation graphique de la composition corporelle à deux compartiments, basée sur des indices normalisés à la taille : indices de masse grasse (IMG) et de masse maigre (IMM), dans une logique préventive et de dispensation de la pratique sportive a été proposée chez le jeune joueur de rugby (Lentin et al., 2021). Cependant, la détermination de ces deux indices nécessite des mesures de la taille et de plis cutanés, se devant en l'occurrence pour ces dernières, d'être réalisées par un opérateur qualifié, à l'aide d'instruments de mesure spécifiques, et pouvant comprendre des erreurs éventuelles techniques atténuant la précision de l'évaluation. Lors d'évaluation de grands échantillons de sportifs, les contraintes de temps peuvent également limiter la qualité des mesures (Campa et al., 2020). L'évaluation de la composition corporelle du jeune sportif à chaque début de saison, comme le préconise Patton et al. (2016), nécessite ainsi l'encadrement sportif à se munir d'une méthode rapide, peu coûteuse et simple. Ces dernières années, de nombreux auteurs ont porté un intérêt pour développement de modèles prédictifs à partir de mesures anthropométriques chez l'enfant et l'adolescent (Peligrini et al., 2015 ; Sandhu et al., 2010). En particulier, Mascherini et al. (2019) ont montré récemment qu'une simple mesure anthropométrique additionnée à l'IMC pouvait réduire le risque d'erreur diagnostique du statut pondéral en particulier chez le jeune sportif. A l'instar de l'élaboration des équations anthropométriques de prédiction de la composition corporelle, les objectifs de cette étude étaient de proposer à l'encadrement sportif de nouvelles équations anthropométriques prédictives d'IMG et d'IMM à partir d'une mesure simple, rapide et valide et de caractériser des morphotypes extrêmes.

2. Méthodologie

a) Population étudiée

Lieu : Clubs de la ligue PACA de rugby à XV.

Sujets : joueurs de rugby à XV ; sexe masculin ; n = 347 dont 106 joueurs en U11 avec un âge moyen de $10,2 \pm 0,7$ ans ; 95 joueurs en U13 avec un âge moyen de $12,2 \pm 0,7$ ans ; 146 joueurs en U15 avec un âge moyen de $14,4 \pm 0,6$ ans.

Sélection : pratique en club, avec le consentement du joueur et celui des représentants légaux.

Critères d'exclusion : aucun.

b) Méthode

L'évaluation de la composition corporelle et l'estimation de la prévalence du surpoids ont été effectuées comme décrit dans la méthodologie générale.

L'identification de 4 morphotypes extrêmes (AS, LS, ASl et LSl) ont été déterminée à partir des neuf subdivisions produites sur le modèle graphique d'Hattori comme décrit dans la méthodologie générale avec pour groupe contrôle, le sous-groupe « inter-inter » (IMM/IMG) moyenne – 1 écart type et < moyenne + 1 écart type ; n = 109).

Les mesures anthropométriques ont été effectuées comme décrit dans la méthodologie générale. Elles concernaient différents sites :

- Pour les circonférences : cheville, mollet, cuisse, hanches, cou, poignet, avant-bras, bras, épaules, thorax, abdomen, taille.
- Pour les plis cutanés : biceps, triceps, sous-scapulaire, sus-iliaque, addomen, cuisse, mollet.

Trois étapes ont été suivies : 1) les indices de composition corporelle (IMM et IMG) ont été calculés comme décrits dans la méthodologie générale, et leur combinaison a permis de définir les morphotypes selon le modèle Hattori, 2) les différentes mesures des plis cutanés et des circonférences ont été recueillies pour plusieurs sites anatomiques, 3) ces mesures ont été analysées statistiquement afin d'établir des modèles de prédiction estimant de façon

différenciée, chacun des indices de composition corporelle (IMM et IMG), ainsi que leur combinaison, caractérisant des morphotypes extrêmes (AS, LS, ASI et LSI).

c) L'analyse statistique

Des statistiques descriptives ont été utilisées pour caractériser l'échantillon. La normalité des paramètres a été évaluée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Le modèle de régression linéaire multiple a été utilisé pour étudier en fonction de l'âge la relation linéaire entre chacune des variables dépendantes étudiées soit pour l'IMG et l'IMM pour l'ensemble de l'échantillon ($n = 347$) ; le couple des Z-scores d'IMG et d'IMM et les variables indépendantes caractérisées par l'ensemble des mesures anthropométriques relatives aux circonférences et aux plis cutanés. Une procédure de régression « pas à pas » descendante a été utilisée pour sélectionner les mesures anthropométriques qui ont abouti au meilleur modèle possible tout en assurant une significativité statistique des résultats. Concernant la recherche des modèles prédictifs de chaque indice corporel (IMM et IMG), seulement les mesures de circonférence ont été sélectionnées. Concernant la recherche du modèle prédictif du couple des Z-scores d'IMM et d'IMG, les mesures des circonférences ainsi que les mesures de plis cutanés ont été sélectionnées. Pour ce dernier, seulement les morphotypes, AS ($n = 52$) et LSI ($n = 59$) ont été étudiés et comparés au groupe contrôle « inter-inter » ($n = 109$). Les morphotypes AS ($n=0$) et LSI ($n = 3$) n'ont pu être étudiés en raison de leur effectif insuffisant.

Un test t a été utilisé pour tester si une mesure anthropométrique particulière contribuait de manière significative au modèle de régression ou non afin d'éliminer les variables statistiquement insignifiantes. L'inclusion d'une mesure anthropométrique a été admise lorsque le seuil de signification était de 5 % ($p < 0,05$). La taille de notre échantillon a été vérifiée selon les conditions de Fidell et Tabachnick (2003). La variation des variances des termes d'erreurs a été étudiée et devait être comprise entre - 3 et + 3. L'hypothèse de la normalité du terme d'erreur a été vérifiée par l'observation du graphique des résidus. Un test de colinéarité (tolérance et facteur d'inflation de la variance) a été utilisé afin de contrôler qu'il n'y ait pas de relation linéaire parfaite entre deux ou plusieurs mesures anthropométriques.

3. Résultats

Nous avons formé les modèles de régression linéaire multiple des variables : IMG et IMM prises comme variables dépendantes en fonction de l'âge et des différentes composantes de circonférences prises comme variables indépendantes. Nos échantillons vérifiaient les conditions de Fidell et Tabachnick (2003). Les 13 variables indépendantes ont été analysées et la condition concernant la taille de nos échantillons était vérifiée. La procédure de la régression linéaire multiple a été lancée pour l'examen des résidus de chaque modèle. Le tableau de diagnostics des observations, montre que toutes ces dernières appartiennent à l'intervalle [- 3 ; + 3]. Les modèles de régression « pas à pas » ont exclu des variables des modèles de régression linéaire multiple. Le test d'Anova atteste que les modèles sont significatifs ($p < 0,01$). Concernant le test de colinéarité, les tolérances et les facteurs d'inflation de la variance (VIF) sont dans les limites recommandées (tolérance $> 0,3$ et VIF < 3), ce qui est un indice de qualité du modèle. A noter que le graphique de répartition de résidus par rapport à une distribution normale, et l'histogramme des résidus standardisés attestent de la normalité de la distribution des résidus.

a) Equation anthropométrique prédictive de l'indice de masse grasse

Le modèle de régression « pas à pas » a exclu six variables du modèle de régression linéaire multiple : les circonférences du mollet, des hanches, du cou, du poignet, de l'avant-bras, du thorax. Les variables indépendantes : l'âge et les circonférences de l'abdomen, du bras, des épaules, de la taille, de la cuisse, de la cheville expliquaient 91 % des variations de l'IMG. Chacun des sept prédicteurs, était significativement lié positivement à l'IMG. Les coefficients de régression associés à ces sept variables ainsi que le niveau de significativité sont présentés dans le tableau 24.

Tableau 24 : IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés pour l'indice de masse grasse et les variables âge et circonférences (Abdomen, bras, épaules, taille, cuisse, cheville).

Facteur	B	Ecart-type	t	p
(Constant)	-4.266	0.463	-9.219	
Abdomen	0.098	0.016	6.239	0.01
Age	-0.170	0.035	-4.914	0.01
Bras	0.182	0.028	6.497	0.01
Epaules	-0.061	0.009	-7.190	0.01
Taille	0.069	0.015	4.542	0.01
Cuisse	0.036	0.014	2.605	0.05
Cheville	-0.077	0.030	-2.567	0.05

De plus, les coefficients de régression Beta standardisés montraient également que la variable « circonférence de l'abdomen » ($\beta = 0,496$) était plus discriminante que les autres variables indépendantes du modèle.

Dans ce premier cas, l'équation suggérée du modèle de régression linéaire multiple d'IMG en fonction des variables est :

$$\text{IMG (kg.m}^{-2}\text{)} = 0,098 \text{ Cir Abdomen} - 0,170 \text{ Age} + 0,182 \text{ Cir Bras} - 0,061 \text{ Cir Epaules} \\ + 0,069 \text{ Cir Taille} + 0,036 \text{ Cir Cuisse} - 0,077 \text{ Cir Cheville} - 4,266$$

b) Equation anthropométrique prédictive de l'indice de masse maigre

Le modèle de régression « pas à pas » a exclu huit variables du modèle de régression linéaire multiple : l'âge et les circonférences du mollet, de la cheville, des hanches, du cou, du poignet, des épaules, du thorax. Les variables indépendantes : circonférences des bras, de la cuisse, de l'avant-bras, de l'abdomen, de la taille expliquaient 84 % des variations de l'IMM. Chacun des cinq prédicteurs, était significativement lié positivement à l'IMM. Les coefficients de régression associés à ces cinq variables ainsi que le niveau de significativité sont présentés dans le tableau 25.

Tableau 25 : IMM : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés pour l'indice de masse maigre et les variables des circonférences (Bras, cuisse, avant-bras, abdomen, taille).

Facteur	B	Ecart-type	t	p
(Constant)	0.703	0.519	1.355	
Bras	0.109	0.046	2.386	0.05
Cuisse	0.093	0.019	5.010	0.01
Avant-Bras	0.276	0.053	5.214	0.01
Abdomen	0.078	0.021	3.634	0.01
Taille	-0.056	0.021	-2.739	0.01

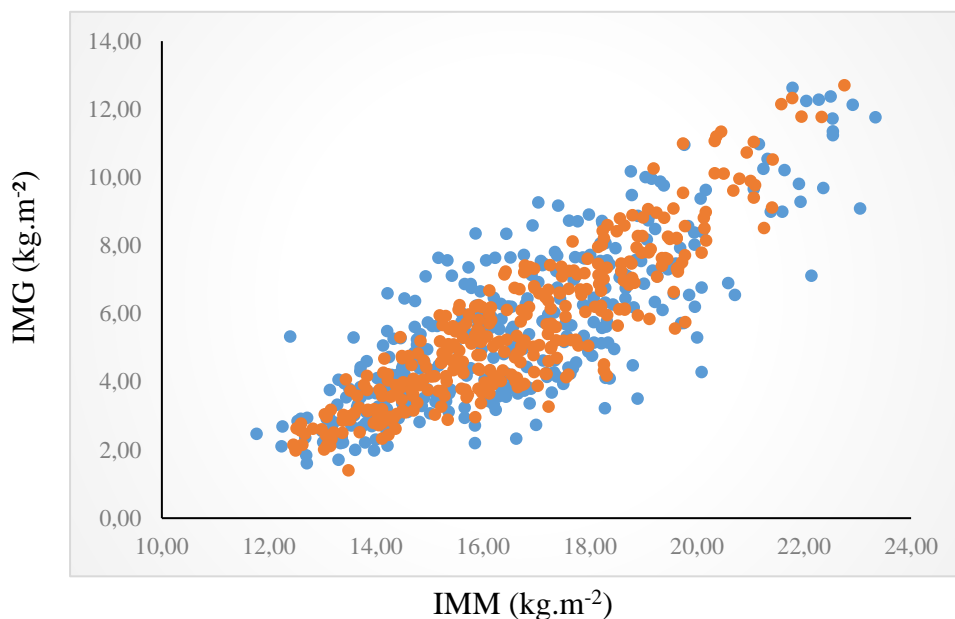
De plus, les coefficients de régression Beta standardisés montraient également que la variable « circonférence de l'abdomen » ($\beta = 0,379$) était plus discriminante que les autres variables indépendantes du modèle.

Dans ce cas, l'équation suggérée du modèle de régression linéaire multiple d'IMM en fonction des variables est :

$$\text{IMM (kg.m}^{-2}\text{)} = 0,109 \text{ Cir Bras} + 0,093 \text{ Cir Cuisse} + 0,276 \text{ Cir Avant-bras} + 0,078 \text{ Cir Abdomen} - 0,056 \text{ Cir Taille} + 0,703$$

c) *Modèle prédictif du morphotype (combinaison IMM/IMG)*

La projection graphique des valeurs d'IMM (x) et d'IMG (y) estimées à partir des plis cutanés et celles des valeurs prédites à partir des mesures de circonférences met en évidence des résultats similaires (figure 42). La moyenne des erreurs de pronostic d'IMM (kg.m⁻²) et d'IMG (kg.m⁻²) et leur étendue par le modèle prédictif sont respectivement de 0,02 kg.m⁻², [- 3,56 ; 5,75 kg.m⁻²] et de 0,01 kg.m⁻², [- 2,56 ; 2,63 kg.m⁻²], comparativement aux valeurs calculées à partir de l'équation de Durnin et Rahaman (sommées des 4 plis cutanés).



Note : IMM : indice de masse maigre ; IMG : indice de masse grasse

Figure 42. Comparaison de la distribution des valeurs d'IMM et d'IMG estimées à partir des plis cutanés (bleu) versus celle des valeurs prédites à partir des mesures de circonférences (orange) chez les jeunes joueurs de rugby.

d) Morphotype extrême : équation anthropométrique prédictive du Z-score d'IMM/IMG

Afin de mieux interpréter et prévoir nos résultats, nous avons combiné nos deux variables dépendantes (IMM et IMG) en une seule variable appelée variable « composite » en fonction de nos variables indépendantes. En se basant sur les travaux de Song et al. (2013) et sur ceux de Ward et al. (2009), nous avons utilisé la technique de combinaison pondérée des Z-scores d'IMM et d'IMG. La méthode de régression linéaire multiple a été appliquée en respectant les mêmes conditions présentées dans les paragraphes précédents, en y ajoutant les variables « plis cutanés », et en réalisant les modèles de régression en fonction des trois groupes : AS (« adipo-solid »), LSI (« lean-slender ») et le groupe contrôle (inter-inter). Nos échantillons vérifiaient les conditions de Fidell et Tabachnick (2003). Nous avons alors traité les 20 variables indépendantes, la condition concernant la taille de nos échantillons était vérifiée. La procédure de la régression linéaire multiple pour l'examen des résidus a été établie. Le tableau de

diagnostics des observations, montre que toutes ces dernières appartiennent à l'intervalle $[-3 ; +3]$. Ainsi, les modèles de régression « pas à pas » ont exclu des variables des modèles de régression linéaire multiple. Le test d'Anova atteste que les modèles sont significatifs ($p < 0,01$). Concernant le test de colinéarité, les tolérances et les facteurs d'inflation de la variance (VIF) sont dans les limites recommandées (tolérance $> 0,3$ et VIF < 3), ce qui est un indice de qualité du modèle. Le graphique de répartition de résidus par rapport à une distribution normale, et l'histogramme des résidus standardisés ont attesté de la normalité de la distribution des résidus.

○ **Pour le groupe « Inter-Inter »**

Le modèle de régression « pas à pas » a exclu quinze variables du modèle de régression linéaire multiple : circonférences de la cheville, du mollet, des hanches, du cou, du poignet, de l'avant-bras, des épaules, du thorax, de la taille et les plis bicipital, tricipital, sous-scapulaire, sus-iliaque, de la cuisse, du mollet. Les variables indépendantes : l'âge, les circonférences de la cuisse, du bras, de l'abdomen et le pli de l'abdominal expliquaient 93 % des variations du Z-score d'IMM/IMG. Chacun des cinq prédicteurs, était significativement lié positivement au Z-score d'IMM/IMG. Les coefficients de régression associés à ces cinq variables ainsi que le niveau de significativité sont présentés dans le tableau 26.

Tableau 26 : Morphotype « Inter-Inter » - Z-score IMM/IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés.

Facteur	B	Ecart-type	t	p
(Constant)	-4.334	0.158	-27.467	
Cir Bras	0.071	0.013	5.645	0.01
Cir Abdomen	0.014	0.005	2.885	0.01
Cir Cuisse	0.015	0.004	3.377	0.01
Pli Abdominal	0.008	0.003	2.708	0.01
Age	0.036	0.017	2.147	0.05

De plus, les coefficients de régression Beta standardisés montraient également que la variable « circonférence du bras » ($\beta = 0,406$) était plus discriminante que les autres variables indépendantes du modèle.

Dans ce cas, l'équation suggérée du modèle de régression linéaire multiple Z-score d'IMM/IMG en fonction des variables est :

$$\text{Z-score IMM/IMG (Inter-Inter)} = 0,036 \text{ Age} + 0,071 \text{ Cir Bras} + 0,014 \text{ Cir Abdomen} + 0,015 \text{ Cir Cuisse} + 0,008 \text{ Pli Abdominal} - 4,334$$

○ **Pour le groupe « Adipo-solid »**

Le modèle de régression « pas à pas » a exclu seize variables du modèle de régression linéaire multiple : l'âge, les circonférences de la cheville, du mollet, des hanches, du cou, du poignet, de l'avant-bras, des épaules, de l'abdomen, de la taille et les plis bicipital, tricipital, sous-scapulaire, sus-iliaque, de la cuisse, du mollet. Les variables indépendantes : les circonférences de la cuisse, du bras, du thorax et le pli abdominal expliquaient 93% des variations du Z-score d'IMM/IMG. Chacun des quatre prédicteurs était significativement lié positivement au Z-score d'IMM/IMG. Les coefficients de régression associés à ces quatre variables ainsi que le niveau de significativité sont présentés dans le tableau 27.

Tableau 27 : Morphotype « Adipo-solid » - Z-score IMM/IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés.

Facteur	B	Ecart-type	t	p
(Constant)	-5.580	0.286	-19.498	
Cir Cuisse	0.040	0.010	4.000	0.01
Cir Thorax	0.018	0.007	2.476	0.05
Pli Abdominal	0.023	0.007	3.169	0.01
Cir Bras	0.058	0.019	2.992	0.01

De plus, les coefficients de régression Beta standardisés montraient également que la variable « circonférence de la cuisse » ($\beta = 0,388$) était plus discriminante que les autres variables indépendantes du modèle.

Dans ce cas, l'équation suggérée du modèle de régression linéaire multiple Z-score d'IMM/IMG en fonction des variables est :

$$\text{Z-score IMM/IMG (Adipo-Solid)} = 0,040 \text{ Cir Cuisse} + 0,018 \text{ Cir Thorax} + 0,023 \text{ Pli Abdominal} + 0,058 \text{ Cir Bras} - 5,580$$

○ **Pour le groupe « Lean-Slender »**

Le modèle de régression « pas à pas » a exclu dix sept variables du modèle de régression linéaire multiple : âge, circonférences de la cheville, des hanches, du cou, du poignet, de l'avant-bras, du bras, des épaules, du thorax, de l'abdomen, et les plis bicipital, tricipital, sous-scapulaire, sus-iliaque, abdominal, de la cuisse, du mollet. Les variables indépendantes : circonférences de la cuisse, de la taille, du mollet expliquaient 94% des variations du Z-score d'IMM/IMG. Chacun des trois prédicteurs, était significativement lié positivement au Z-score d'IMM/IMG. Les coefficients de régression associés à ces trois variables ainsi que le niveau de significativité sont présentés dans le tableau 28.

Tableau 28 : Morphotype « Lean-Slender » - Z-score IMM/IMG : Résultats d'estimation et de test des coefficients de régression linéaire multivariés.

Facteur	B	Ecart-type	t	p
(Constant)	-4.535	0.141	-32.157	
Cir Cuisse	0.047	0.009	5.306	0.01
Cir Taille	0.010	0.005	2.255	0.05
Cir Mollet	0.026	0.011	2.235	0.05

De plus, les coefficients de régression Beta standardisés montraient également que la variable « Circonférence de la cuisse » ($\beta = 0,609$) était plus discriminante que les autres variables indépendantes du modèle.

Dans ce cas, l'équation suggérée du modèle de régression linéaire multiple Z-score d'IMM/IMG en fonction des variables est :

$$\text{Z-score IMM/IMG (Lean-Slender)} = 0,047 \text{ Cir Cuisse} + 0,010 \text{ Cir Taille} + 0,026 \text{ Cir Mollet} - 4,535$$

4. Discussion

Ce travail avait pour objectifs de déterminer 1) des modèles prédictifs d'un morphotype à partir des mesures de circonférences et de deux indices de composition corporelle normalisés à la taille (IMM et IMG), 2) un modèle de prédiction d'atypicités à partir du Z-score combinant IMM/IMG à partir des mesures de plis cutanés et de circonférences.

Le pronostic du morphotype à partir des mesures de circonférences semble être pertinent. Par exemple, pour un joueur avec un IMM de $14,13 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ et un IMG de $3,71 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (calculés à partir des sommes des 4 plis), l'équation anthropométrique (circonférences) prédit un IMM de $14,09 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ et un IMG de $3,70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Les moyennes des erreurs de pronostic d'IMM ($0,02 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) et d'IMG ($0,01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) témoignent de la justesse du modèle prédictif. Cependant, leur étendue, IMM : $[- 3,56 ; 5,75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}]$ et IMG : $[- 2,56 ; 2,63 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}]$ nous invitent à faire preuve de prudence dans l'interprétation individualisée du morphotype. Par exemple, pour un joueur avec un IMM de $12,40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ et un IMG de $5,32 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, l'équation anthropométrique prédit un IMM de $18,15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ et un IMG de $7,95 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Outre ce seul cas exceptionnel, dans une démarche interventionnelle, les morphotypes des jeunes joueurs de rugby pourraient être facilement identifiés à partir des équations anthropométriques prédictives d'IMG et d'IMM, notamment afin de « classer » les joueurs à l'intérieur de leur groupe d'appartenance.

Dans une logique préventive, même si la mesure de six différentes circonférences (abdomen, bras, avant-bras, épaules, taille, cuisse et cheville) est requise, la simplicité technique et matérielle semble être un atout afin que l'encadrement sportif puisse faire usage de cette méthode. Il est également important de noter que la circonférence de l'abdomen semble être la variable la plus discriminante dans les deux équations (IMM et IMG). S'agissant des équations prédictives de morphotypes extrêmes, notre modèle basé sur le Z-score combinant IMM/IMG semble proposer des perspectives intéressantes dans la détection d'atypicités. Effectivement, la procédure de régression « pas à pas » semble proposer un modèle basé sur des variables de circonférences et de plis cutanés capables de prédire des valeurs de Z-score et susceptibles d'identifier un morphotype « Adipo-Solid » et « Lean-Slender ». Néanmoins, des investigations complémentaires sont nécessaires afin de définir des scores-seuils qui permettraient de dichotomiser l'appartenance à un morphotype extrême. De plus, il est utile également d'étendre cette méthode à l'ensemble des quatre atypicités et en l'occurrence à celles que nous n'avons pas pu explorer, « Adipo-Slender » et « Lean-Solid ».

IV. Discussion générale et synthèse

A. **Prévalence du surpoids et l'obésité chez le jeune joueur de rugby**

Le premier objectif de ce travail était d'évaluer la prévalence du surpoids à partir de l'IMC chez les jeunes joueurs de rugby masculins, et de la comparer à la population générale en France. Les résultats montrent une prévalence du surpoids et de l'obésité chez les joueurs de rugby masculins de 9 à 14 ans très élevée. Effectivement, à partir des critères IOTF, la prévalence est beaucoup plus élevée que celle observée dans la population générale, 46,6 % versus 17,5 à 19,1 % (DREES, 2004 ; DREES, 2008). Cette prévalence reste également supérieure à celle observée par Thibault et al. (2010) dans la même pratique sportive en France mais dans un petit échantillon (33,3 %). Cette divergence peut être attribuée à des différences régionales comme les habitudes alimentaires, le mode de vie ou le contexte environnemental. La comparaison de nos résultats avec ceux d'autres sports est difficile en raison de la rareté des études dans ce domaine. Cependant, il est intéressant de noter que l'étude de Malina et al. (2007) a rapporté une prévalence similaire (42,6 %) à celle de notre étude chez des jeunes joueurs de football américain. En effet, le rugby et le football américain sont des sports d'équipe dans lesquels la masse corporelle et la grande taille sont importantes pour produire de la force et de la puissance. Cela pourrait expliquer une auto-sélection des joueurs plus lourds pour pratiquer ces sports, et par conséquent une prévalence plus élevée d'adolescents en surpoids et obèses observée dans notre étude par rapport à la population générale. De plus, il est probable que ces sports puissent conduire à une image globale de soi plus positive pour les adolescents obèses, ce qui pourrait expliquer ce choix. Outre la prévalence du surpoids, singulière aux sports de contact cités, la littérature observe dans d'autres sports une grande variabilité de la prévalence du surpoids (de 3,7 % à 25,1 %) et de l'obésité (de 0 % à 10,9%) chez le jeune en Europe et aux Etats-Unis. Récemment, Nikolaidis (2013) a constaté que 19,3 % des adolescents grecs qui avaient participé à des entraînements et des compétitions de football pendant 5,5 heures par semaine depuis l'âge de six ans étaient en surpoids, mais qu'aucun d'entre eux n'était classé comme obèse. Ainsi, l'étude de Nikolaidis (2013) suggère un effet de la pratique régulière d'un sport sur la prévention de l'obésité. Les effets bénéfiques de la pratique sportive sur la composition corporelle des enfants et des adolescents dépendent du type de stimulus d'exercice (intensité, durée et fréquence). Dans notre étude, la durée moyenne de l'entraînement était de 2,2 h par semaine en dehors des cours d'EPS (3 h par semaine). Il est possible que ce stimulus ne soit pas suffisant pour que ces jeunes joueurs de rugby puissent espérer un effet positif sur la composition corporelle et la prévention de l'obésité. Par exemple, Leek et al., (2011) ont constaté aux Etats-

Unis que seulement 24 % des enfants et des adolescents passaient 60 min par jour en activité physique modérée à vigoureuse lorsqu'ils pratiquaient leur sport. Un résultat comparable (20 %) a été observé par Telford et al. (2016) chez des jeunes australiens âgés de 8 à 16 ans. Récemment, Marques et al. (2016) n'ont pas trouvé de relation significative entre la pratique d'un sport organisé et l'IMC dans un large échantillon d'enfants et d'adolescents portugais. Il est intéressant de noter que Drake et al. (2012) ont montré que la prévalence de l'obésité diminuerait de 26 % si les adolescents pratiquaient au moins deux sports d'équipe par an. Les présentes observations ont des implications dans la conception d'interventions visant à augmenter le temps consacré à l'entraînement et/ou à l'activité physique de loisir pendant la semaine afin de prévenir l'obésité. A l'avenir, il serait intéressant d'évaluer les contraintes métaboliques pendant les séances d'entraînement et l'activité physique en dehors des séances d'entraînement pour savoir si ces jeunes joueurs de rugby atteignent le niveau d'activité physique recommandé. La participation au sport durant l'adolescence reste un sujet important faisant débat et doit être étudiée en considérant le contexte des habitudes alimentaires afin de prévenir l'obésité pédiatrique (Nelson et al., 2011).

B. Evolution de la composition corporelle chez le jeune joueur de rugby de poids normal et en surcharge pondérale entre 9 et 14 ans.

A ce jour, à notre connaissance, aucune information n'était disponible dans la littérature sur la composition corporelle évaluée à partir d'indices de masse grasse et de masse maigre normalisés à la taille dans un grand échantillon de jeunes joueurs de rugby et détaillée selon différentes catégories d'âge. Ainsi l'utilisation des deux composantes de l'IMC (IMG et IMM) permettait d'évaluer indépendamment de l'évolution de la taille, et *in fine* de la croissance, si les différences d'IMC entre les catégories d'âge étaient plutôt liées aux variations de la masse grasse ou de la masse maigre. Nos données mettent en évidence la nécessité de faire une distinction entre les joueurs de poids normal et les joueurs en surpoids/obèses afin de suivre l'évolution de l'adiposité dans les différentes catégories d'âge de cette population. En effet, chez les joueurs de poids normal, l'IMG n'a pas changé de manière significative lors de la transition entre les catégories d'âge, alors qu'il est observé une augmentation significative de l'IMC entre les U13 et U15. En analogie, chez les joueurs en surpoids/obèses, l'IMG tout comme l'IMC augmentent significativement entre U13 et U15. Par ailleurs, les corrélations entre l'IMC et le % MG variaient de 0,79 à 0,87 pour toutes les catégories d'âge, et elles étaient encore plus fortes avec

l'IMG (0,91 - 0,96). Ces corrélations élevées entre l'IMC, le % MG et l'IMG ont été observées chez des adolescents non sportifs pour des IMC élevés (Demerath et al., 2006 ; Freedman et al., 2005 ; Xiong et al., 2012).

Nos résultats suggèrent une évolution différente entre l'IMC et l'IMG selon l'âge et le niveau de corpulence. On observe une augmentation significative de la masse grasse chez le jeune joueur de rugby entre U11 et U15 indépendamment du niveau de corpulence. Des résultats contradictoires ont été reportés dans la littérature concernant l'évolution de l'IMG chez l'adolescent dans la population générale (Maynard et al., 2001 ; Freedman et al., 2005 ; Castilho et al., 2008 ; Weber et al., 2013). Dans la seule étude longitudinale disponible effectuée pendant la période de l'adolescence, une diminution de l'IMG a aussi été observée chez des garçons américains, atteignant le plus bas niveau à l'âge de 15 ans (Demerath et al., 2006). Ainsi, l'évolution du tissu adipeux du jeune joueur de rugby entre la catégorie U11 (début de la puberté) et la catégorie U15 (pic pubertaire) semble être assez singulière. En revanche, il est important de noter que l'IMM a augmenté de manière significative entre les catégories d'âge, et dans la même mesure pour les deux groupes (environ + 16 %). Ce schéma de variation est caractérisé par une légère augmentation (Joueurs de poids normal, + 2,8 % ; Joueurs en surcharge pondérale, + 4,2 %) entre U11 et U13, et une augmentation plus importante pendant la période de transition entre U13 et U15 (Joueurs de poids normal, + 13,5 % ; Joueurs en surcharge pondérale, + 11,3 %). Nos résultats sont cohérents avec les résultats des études antérieures indiquant que l'augmentation de l'IMC pendant la croissance est principalement attribuable à l'augmentation de la masse maigre chez les garçons adolescents. Il est de même reconnu dans la littérature scientifique que l'augmentation marquée de la masse maigre est observée à partir de l'âge du pic de vitesse de croissance, en moyenne donné à l'âge de 14 ans chez le garçon (Maynard et al., 2001). La comparaison de nos résultats avec des études antérieures concernant l'évolution concomitante de l'IMG et l'IMM, est difficile dans la mesure où aucune étude à notre connaissance n'a évalué ces deux indices chez de jeunes athlètes, ou dans la population générale française pendant la période pubertaire. Cependant nous avons pu comparer nos valeurs moyennes d'IMM et d'IMG et du % MG respectivement de 16,3 kg.m⁻², 5,2 kg.m⁻² et de 23,3 %, à d'autres études. Des valeurs plus basses chez les enfants et les adolescents non sportifs pour des catégories d'âge similaires ont été rapportées en Amérique (Demerath et al., 2006), en Iran (Jeddi et al., 2014) et en Chine (Xiong et al. 2012). Cependant, chez des garçons brésiliens de 12 ans (De Oliveira et al., 2016), l'IMG (4,8 kg.m⁻²) et la

prévalence de l'obésité (10,3 %) étaient similaires à celles de nos joueurs U13 (4,7 kg.m⁻²; 9,7 %), alors que la valeur moyenne d'IMM était plus faible que dans notre population. Des garçons coréens (Park et al., 2011) présentaient un IMG (5,3 kg.m⁻²) et un % MG (27%) plus élevés et un IMM similaire (14,3 kg.m⁻²) par rapport aux valeurs observées chez nos joueurs U11 (FFMI/BFMI : 14,9 / 4,4 kg.m⁻²; % MG : 21,5 %). Outre les particularités ethniques présentées dans la revue de littérature qui induisent des différences de composition corporelle, notre population de jeunes joueurs de rugby présente des valeurs moyennes d'IMM et d'IMG supérieures à la population générale pour cette catégorie d'âge.

C. Une corpulence élevée est-elle liée uniquement à un excès de masse grasse ?

La masse corporelle et la taille sont des composantes importantes de la performance au rugby (Krause et al., 2014). Dans notre étude, l'IMC moyen pour les U13 est très proche des données rapportées chez les rugbymen australiens adolescents (Krause et al., 2014) dans une catégorie similaire (20,7 kg.m⁻²). En revanche, l'IMC moyen est plus élevé pour nos U15 (25,1 contre 21,7 kg.m⁻²), uniquement à cause d'une masse corporelle plus importante (72,8 contre 64,3 kg) certainement liée à un excès de masse grasse. Dans ce présent travail, les jeunes joueurs de rugby ne suivaient pas d'entraînement spécifique de musculation dans leur club. Ainsi, il est peu probable que cette différence soit attribuée à des différences de masse maigre, mais plutôt à des différences de masse grasse. Bien que les joueurs en surpoids/obèses présentaient un IMG plus élevé (étendue : + 2,9 - 3,7 kg.m⁻²) que les joueurs de poids normal dans notre étude, ils présentaient également un IMM plus élevé (étendue : + 2,4 - 2,7 kg.m⁻²). Il est important de mentionner que la majorité des joueurs de rugby obèses (66 à 100 %) se situait dans le tertile le plus élevé à la fois de l'IMG et de l'IMM. De plus, nous avons trouvé des corrélations fortes pour les U11 et modérées pour les U13 et U15 entre l'IMM et l'IMG, ce qui indique une dépendance entre ces deux composantes de la composition corporelle. Il a été suggéré que le surpoids pouvait contribuer à une masse maigre plus importante pour supporter une masse corporelle excessive (Weber et al., 2013). Cela peut être particulièrement vrai pour les adolescents qui pratiquent un sport tel que le rugby, en sollicitant leur masse corporelle lors d'exercices de force et de puissance. Cette relation entre l'IMG et l'IMM a été toutefois relevée faible ou modérée dans la population générale d'adolescents (Freedman et al., 2005 ; Jeddi et al., 2014). De façon intéressante, Infante et al. (2013) n'observent pas de corrélation entre

l'IMG et l'IMM chez des joueurs adultes de rugby, évoluant en ligue régionale, avec une prévalence élevée de surpoids et d'obésité (79 %). Cette observation contradictoire pourrait être en partie liée à la taille faible de l'échantillon, aux différences d'âge, et à la durée passée en situation d'excès d'adiposité. Ainsi, comme l'illustre nos résultats, il semble difficile de dissocier la masse grasse élevée de la masse maigre élevée et inversement, excepté pour les joueurs U11 en surpoids/obèses, pour lesquels la relation entre l'IMC et l'IMM était faible. Cette association a été observée dans la population générale parmi les adolescents relativement lourds (> 85^{ème} percentile ; Freedman et al., 2005). Cela suggère que la différence d'IMC entre les jeunes joueurs de rugby n'était pas seulement due à la masse grasse mais aussi à la masse maigre. D'un autre côté, cela confirme que l'IMC peut être un outil utile pour évaluer l'adiposité chez les jeunes joueurs de rugby jusqu'à la catégorie U11. Le diagnostic de l'excès de masse grasse par l'IMC perd de sa justesse pendant la phase pubertaire et lorsque le niveau d'adiposité est faible. Même si chez l'enfant sportif, ce constat n'avait pas pu être établi, Ode et al. (2007) avaient déjà souligné que l'IMC classait de manière incorrecte les athlètes adultes d'adiposité normale en raison d'une masse musculaire importante. Il est important d'indiquer qu'un IMC donné dans ce travail peut correspondre chez le jeune rugbyman à différentes combinaisons d'IMM et d'IMG. Par exemple, chez les U15, deux joueurs présentant un IMC similaire (22,4 et 22,3 kg.m⁻²) avaient un IMG de 4 et 6,6 kg.m⁻² et un IMM de 18 et 15,7 kg.m⁻². Ainsi, l'analyse des graphiques de la distribution de l'IMM et de l'IMG selon le modèle Hattori à partir des 25 et 75^{ème} percentiles peut être utile pour déterminer, et comparer la contribution de chacune des composantes de l'IMC entre joueurs de même catégorie d'âge et/ou dans une logique de nouvelle catégorisation. Ces observations graphiques témoignent que l'IMC est susceptible de pouvoir surestimer facilement le niveau de masse grasse corporelle d'un joueur classé en surpoids en raison d'une masse maigre élevée, tout comme le sous-estimer. Ce dernier cas a été observé pour deux joueurs (U11 et U13) catégorisés de poids normal par l'IMC, mais présentant un faible IMM et un IMG élevé. Aucun joueur de la catégorie U15 n'était dans cette situation. Utilisant cette méthode, Nakao and Komiya (2003) considéraient un enfant obèse notamment lorsqu'il témoignait de cette dernière combinaison.

D. Surestimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité

Nous avons mis ainsi en évidence la nécessité d'interpréter avec précaution la prévalence élevée du surpoids et de l'obésité chez le jeune joueur de rugby, établie à partir de l'IMC et des critères IOTF (étude 2). En effet, en moyenne, 44,3 % de l'excès de corpulence sont représentés par la contribution du tissu maigre chez ces jeunes joueurs en surpoids et obèses âgés de 9 à 14 ans. Celle-ci augmente de manière marquée entre les catégories U11 et U13 (surpoids : + 14,7 pts ; obésité : + 19 pts), et devient majoritaire dans les catégories U13 et U15 chez les joueurs en surpoids comparativement à la contribution du tissu gras. L'imprégnation hormonale au cours de la puberté, favorable à la synthèse de la masse maigre et à la réduction de la masse grasse chez le garçon, permettraient d'expliquer en partie ce résultat (Freedman et al., 2005). Par ailleurs, être en surpoids ou obèse pourrait contribuer à augmenter la masse maigre pour supporter cet excès pondéral, en particulier pour le jeune joueur de rugby sollicitant régulièrement sa masse corporelle lors des exercices de force et de puissance (Gavarry et al., 2018). De plus, une proportion non négligeable de jeunes joueurs en surpoids et obèses (18%) a un excès de corpulence lié exclusivement à un excès de tissu maigre, et est ainsi considérée à tort en surcharge pondérale. En revanche, dans une logique préventive, une attention toute particulière devrait être portée auprès de 21% des jeunes joueurs en surpoids et obèses, dont l'excès de corpulence est exclusivement lié à un excès d'adiposité. Par ailleurs, le degré de sévérité de la surcharge pondérale est un élément à considérer dans l'analyse de la contribution de ces deux tissus dans l'excès de corpulence. La contribution du tissu gras dans l'excès de corpulence est significativement plus élevée chez le jeune joueur obèse que celui en surpoids. Selon Freedman et al. (2005), plus la sévérité de la surcharge pondérale liée à un excès de masse grasse est importante, plus l'IMC est un indicateur fiable d'obésité. Néanmoins, il serait nécessaire d'affiner ces résultats à l'aide d'une méthode à trois compartiments, afin d'appréhender l'évolution de la masse osseuse par rapport à celle du tissu musculaire. Chez le jeune joueur de rugby, l'utilisation de l'IMC, avec pour référence les courbes de corpulence de la population générale française, surestime la prévalence du surpoids et de l'obésité. En tenant compte des joueurs dont l'excès de corpulence (>75^{ème} percentile) est lié exclusivement à un excès d'IMM (100 %), la surestimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité selon les critères IOTF pourrait être considérée de 18,8 % ; 28,9 % et 11,0 % chez les U11, U13 et U15 respectivement. Cela est lié à une contribution importante de tissu maigre dans l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby. De surcroît, la faiblesse de l'IMC dans une visée

diagnostique tend à s'accroître au fil de la phase pubertaire. Elle serait en lien avec la faiblesse de sa spécificité au profit d'une meilleure sensibilité. *A contrario*, la littérature scientifique évoque plutôt une faiblesse de la sensibilité de l'IMC, s'expliquant sans doute par le fait que les études soient réalisées majoritairement auprès de jeunes non sportifs et donc entraînant une sous-estimation de la surcharge pondérale. Effectivement, dans notre population de jeunes sportifs, la sensibilité de l'IMC est élevée au dépend de sa spécificité, ce qui suggère une surestimation de la surcharge pondérale. Ainsi à l'âge de 11 ans, il semble approprié d'abandonner l'utilisation de l'IMC, et de préférer une évaluation de ses deux composantes (IMG et IMM), afin d'identifier plus finement l'origine de l'excès de corpulence, ainsi que certains morphotypes atypiques dans une logique prophylactique de performance et de santé.

E. La problématique de l'excès de masse grasse : prévention, stratégie d'intervention... ?

Une question intéressante est de savoir comment atteindre une composition corporelle optimale pour des niveaux d'IMC élevés chez les jeunes joueurs de rugby susceptibles d'être postés à « l'avant ». Dans le présent échantillon, l'IMG des joueurs en surpoids et obèses était de 83,3 à 100 % plus élevé que celui des joueurs de poids normal, tandis que l'IMM n'était supérieur que de 16,4 à 18,5 %. Cela signifie qu'un IMC plus élevé chez les joueurs obèses et en surpoids était principalement dû à une masse grasse plus importante par rapport aux joueurs de poids normal. De la même manière, Darral-Jones et al. (2016) ont souligné que l'adiposité des « avants » était 71 % plus élevée que celle des arrières chez les joueurs adolescents de rugby à XV. Par conséquent, les jeunes joueurs classés en surpoids et obèses dans notre étude les prédestinent probablement à devenir de futurs « avants ». De plus, cet aspect doit être pris en compte car les niveaux d'adiposité plus faibles dans les catégories « junior » peuvent contribuer partiellement à la progression de la carrière à long terme (Till et al., 2015). Bien que la masse grasse puisse jouer un rôle positif lors de collisions physiques en tant qu'effet protecteur, il a été suggéré qu'une masse grasse plus élevée pouvait être associée à des taux de blessures plus importants (Patton et al., 2016), et avait un impact négatif sur le profil locomoteur des joueurs (Darral-Jones et al., 2016). Par ailleurs, nos résultats soulignent le problème des enfants promus à une tranche d'âge supérieure dans des sports tels que le rugby, où des différences majeures de poids et de composition corporelle existent déjà entre les joueurs d'une même catégorie d'âge. Par exemple, dans ce présent travail, la masse corporelle la plus élevée et la plus faible pour les

U11 étaient respectivement de 87,2 et 22,7 kg avec un coefficient de variation pour ce paramètre très important (24%). Cette situation extrême en termes de masse corporelle entre les jeunes joueurs de rugby a conduit certaines fédérations à modifier leurs politiques, en autorisant les joueurs de plus petite taille à concourir avec des joueurs plus jeunes, afin d'assurer leur sécurité et d'augmenter la participation à ce sport (Patton et al., 2016). Cet aspect devrait être pris en compte par la Fédération Française de Rugby, où les jeunes rugbymen sont classés par âge. Dans le cadre de cette discussion, le désir d'augmenter la masse corporelle chez les joueurs de rugby adolescents afin d'accroître la puissance et la force peut entraîner une confusion entre les concepts de masse corporelle et de force. De plus, l'augmentation de la masse musculaire nécessite un programme d'entraînement en résistance adéquat, combiné à un régime alimentaire qui fournit de l'énergie et des protéines spécifiques pour produire les gains souhaités. Dans ce contexte, les jeunes sportifs sont souvent vulnérables aux informations erronées sur la croissance et le développement musculaire, en raison d'un manque d'informations précises sur les besoins alimentaires pour la prise de masse musculaire (Nelson et al., 2011). De plus, un programme d'entraînement en résistance avec des exercices d'haltérophilie ou des exercices de poids du corps est recommandé à la fin de la puberté. Ainsi, le risque majeur chez les jeunes joueurs de rugby est d'ingérer un excès de calories par rapport à l'énergie dépensée, ce qui entraîne le stockage des graisses dans le tissu adipeux, et aboutit à long terme à une surcharge pondérale. Dans ce contexte, Thivel et al. (2015) en France et Walsh et al. (2011) en Irlande ont souligné la nécessité d'améliorer l'éducation nutritionnelle des joueurs de rugby à l'adolescence. L'éducation des jeunes joueurs et des parents, et la sensibilisation sur les aspects positifs et négatifs de l'augmentation de la corpulence à partir de la masse maigre par rapport à la masse grasse sont également fondamentaux.

F. Le modèle de la catégorisation par « le poids », un vaste débat !

La variance de la corpulence et de la composition corporelle des jeunes joueurs de rugby à XV a été étudiée dans les deux modèles de catégorisation, modèle par l'âge *versus* modèle par la masse corporelle. Un certain nombre de différences statistiquement significatives des valeurs moyennes de corpulence et de composition corporelle ont été observées entre les groupes classés par masse corporelle et leur groupe d'âge respectif. Cependant, la taille de l'effet de ces différences était comparativement faible, ce qui suggère un impact limité de la classification par la masse corporelle sur les tendances centrales de la corpulence et/ou de la composition

corporelle. Des différences étaient toutefois observées concernant le degré de variance de la corpulence et de la composition corporelle entre les groupes, excepté pour la taille. Comme on pouvait s'y attendre, la stratégie de classification par la masse corporelle avait réduit uniformément la variance de la masse corporelle, de l'IMC, de l'IMG et de l'IMM. Par conséquent, la stratégie de classement par la masse corporelle semble être efficace pour limiter les disparités de ces variables chez les jeunes joueurs de rugby. Les résultats des ellipses normales bivariées indiquaient une diminution de la dispersion d'IMM/IMG entre les joueurs après la classification par la masse corporelle. De plus, environ 56 % à 78 % de jeunes joueurs classés par la masse corporelle étaient dans une catégorie correspondant à leur catégorie d'âge, signifiant que l'identité des catégories a été préservée. Cependant, les atypicités ont subsisté (10 %) notamment en ce qui concerne les morphotypes extrêmes (adipo-slender, adipo-solid, lean-slender et lean-solid) malgré la classification par la masse corporelle.

L'originalité de notre travail résidait dans la méthode choisie pour catégoriser les jeunes joueurs de rugby à partir des percentiles de poids, et par l'identification de morphotypes bi-dimensionnels et standardisés dans le modèle graphique de composition corporelle d'Hattori. L'introduction de catégories de poids chez les jeunes joueurs de rugby, en particulier pendant la puberté, a reçu une attention toute particulière de la part de certaines fédérations de rugby comme l'Australie, la Nouvelle-Zélande, ou encore certaines écoles indépendantes (Patton et al., 2016). Les disparités de corpulence marquées au sein du modèle de catégories d'âge et le risque accru associé de blessures chez les joueurs de faible corpulence et/ou chez les joueurs à maturité tardive est une préoccupation majeure (Tucker et al., 2016). Bien qu'il n'y ait actuellement aucune preuve pour considérer que les joueurs de faible corpulence ou à maturité tardive encourrent un risque accru de blessure, il existe des preuves limitées pour suggérer que ce n'est pas le cas. Une étude a indiqué que les joueurs plus corpulents étaient plus exposés aux blessures (Archbold et al., 2017). Cette observation pouvait résulter du fait que les joueurs de plus grande corpulence dominaient le jeu, et par conséquent, étaient plus exposés aux blessures. Inversement, les joueurs de faibles corpulences et/ou de maturité plus tardive pourraient ainsi moins participer activement aux situations de jeu avec contact. Une autre préoccupation eu égard aux disparités de corpulence chez les jeunes rugbymen est celle liée à l'équité en compétition. En raison de leur corpulence supérieure et/ou d'une maturité physique plus avancée, certains joueurs auraient plus de chances de réussir, et d'être retenus dans certains programmes de sélection (Howard et al., 2016). Bien qu'une corpulence supérieure puisse offrir

un avantage initial, elle pourrait aussi avoir un impact négatif sur le développement à long terme de ces joueurs. Effectivement, ces joueurs pourraient se reposer sur leurs avantages physiques au dépend de leurs développements technique, tactique et psychologique (McIntosh et al., 2003). Un biais de sélection en faveur des joueurs de plus grande corpulence et/ou de maturité plus précoce pourrait également entraîner la non sélection et/ou la perte de talents de plus petite corpulence et/ou de maturité plus tardive (Patton et al., 2016). Il conviendrait de noter que la corpulence n'est pas le seul prédicteur de la performance, et de sélection chez les jeunes joueurs de rugby. Les différences de maturation biologique pourraient aussi contribuer à la performance et être un biais de sélection. Effectivement, les recherches en judo ont suggéré que la maturation était un meilleur prédicteur de la force du haut du corps que la corpulence et l'expérience de la pratique du judo chez le jeune (Detanico et al., 2020). Le « Weight Consideration Guideline » produit par World Rugby (2016) identifie la catégorisation par l'âge comme étant la stratégie la plus efficiente, afin de faire concourir les joueurs tenant compte de leur développement cognitif, psychosocial, et physique. D'un point de vue pragmatique, on peut aussi affirmer que le modèle de catégorisation par l'âge est le plus facile à mettre en œuvre et à régler. Cependant, le modèle de catégorisation par la masse corporelle n'est pas exclu. Le modèle de catégorisation par l'âge est actuellement utilisé par l'ensemble des nations. La classification s'établit généralement sur une seule année civile ou deux comme la France. La considération du modèle de classification par la masse corporelle est ainsi particulièrement pertinente en France où une catégorie d'âge couvre deux années civiles. Dans la plupart des pays, des règles existent afin de permettre à certains joueurs de concourir avec d'autres joueurs d'âges différents, aussi bien à l'entraînement qu'en compétition (dans une catégorie d'âge supérieure ou inférieure). Dans notre travail, à partir d'une classification intégrant deux années par catégorie d'âge, des différences marquées ont été observées entre les joueurs les plus lourds et les plus légers au sein de la même catégorie d'âge (U11 : $\Delta = 64,5$ kg ; U13 : $\Delta = 71,8$ kg ; U15 : $\Delta = 84,3$ kg). De façon similaire, mais pour un même âge (15 ans), Nutton et al. (2012) ont observé une grande variation de la masse corporelle chez des jeunes joueurs de rugby irlandais (de 46 à 127,1 kg). Cela témoigne clairement que même pour une classification intégrant qu'une seule année par catégorie d'âge, il semble que la grande variabilité de masse corporelle entre les joueurs ne se réduise pas. Ces grandes différences soulèvent la question de la capacité du modèle de classement par la masse corporelle à réduire cette grande disparité entre les jeunes joueurs. D'après nos données, la valeur moyenne de la masse corporelle différait significativement entre U13 *versus* W45-59,9 et U15 *versus* W60-79,9. Le coefficient de variation pour cette variable

était significativement plus faible dans le modèle de la masse corporelle par rapport au modèle de classification par l'âge (de - 11,3 à - 15,7 points), suggérant une réduction de sa dispersion dans le modèle de classification par la masse corporelle. De plus, nous avons observé une importante réduction de l'étendue de la plage de la masse corporelle entre les deux modèles de classification (de - 49,7 à - 64,9 kg). De surcroît, il est raisonnable de suggérer que les joueurs de faible corpulence ou masse corporelle devraient percevoir moins d'appréhension, et une meilleure motivation pour s'engager physiquement dans des situations de jeu avec contacts. En effet, dans la mesure où la catégorisation par la masse corporelle permettrait de réunir sensiblement des joueurs de même corpulence, la confrontation serait dès lors facilitée. Par ailleurs, cela pourrait conduire à une amélioration des compétences techniques en matière de plaquage et de mêlée.

G. Choix du modèle statistique pour établir la catégorisation par « le poids »

Différentes méthodes de catégorisation impliquant des critères de masse corporelle sont proposées et diffèrent par le choix des critères statistiques (percentile, la déviation standard) et/ou de la population de référence retenue (Patton et al., 2016). Dans notre étude, nous avons utilisé les limites des 25^{ème} et 75^{ème} percentiles comme valeurs seuils de chacune des catégories, à l'instar de la méthode « Sydney Junior Rugby » (2011). Contrairement à cette dernière méthode, notre analyse s'est basée sur notre population d'étude de joueurs de rugby, qui nous semblait plus pertinent que la prise en compte de la population générale, notamment dans une logique de catégorisation. En effet, la méthode « Sydney Junior Rugby » peut sous-estimer les caractéristiques anthropométriques de la population étudiée de jeunes joueurs de rugby par rapport à une population dite normative (Krause et al., 2015). Dans ce contexte, Patton et al. (2016) ont suggéré de mesurer la masse corporelle des jeunes joueurs de rugby lors de leur inscription afin d'établir des données actualisées à chaque changement de saisons sportives. Cela permet de surmonter les changements morphologiques qui se produisent au fil du temps, et qui sont observés en particulier dans cette population spécifique (Sedeaud et al., 2014). Notre méthode de classification par la masse corporelle proposait de répartir les joueurs à l'intérieur de leur groupe d'appartenance à partir d'une valeur de masse corporelle minimum et maximum, au-dessus et en-dessous desquelles, ils étaient respectivement surclassés ou sous-classés. Il est intéressant de noter que la valeur moyenne de l'âge chronologique pour les groupes de masse corporelle était similaire à celle des groupes d'âge (W30-44,9 vs. U11 : + 0,6 ans ; W45-59,9

vs. U13 : + 0,1 ans ; W60-79,9 vs. U15 : - 0,4 ans), mais comme attendu avec un écart-type plus important. En outre, on pouvait constater qu'un grand nombre de U11 et U15 se trouvait dans une catégorie de masse corporelle qui correspondrait à leur catégorie d'âge. Cette constatation indique que la variable de l'âge chronologique a été préservée pour ces jeunes joueurs après notre classification par la masse corporelle. Cependant, cela n'était pas vrai pour les U13 pour lesquels près de 40 % d'entre eux ont été sous-classés dans la catégorie des W30-44,9 avec une majorité de joueurs de poids normal (environ 95 %). Dans cette même étude, les joueurs sur-classés étaient principalement des joueurs obèses indépendamment de la catégorie d'âge. Ceci est lié au fait que la majorité des joueurs obèses (66 à 100 %) se trouvaient dans les tertiles les plus élevés d'IMM et d'IMG dans le modèle de la classification par l'âge. De plus, une dépendance entre l'IMM et l'IMG a été mise en évidence pour le modèle de classification par l'âge comme ont pu le montrer les corrélations modérées et fortes trouvées entre ces deux composantes. Cela signifie que la différence d'IMC était due aussi bien à la masse grasse qu'à la masse maigre, en particulier chez les U13 et U15 (Gavarry et al., 2018). En revanche, il n'y avait plus de relation entre l'IMM et l'IMG dans chacune des catégories de masse corporelle. Bien que certains auteurs aient rapporté une prévalence importante de l'obésité dans la population des jeunes joueurs de rugby, nous avons observé dans nos travaux comme décrit plus haut une diminution de la contribution de l'IMG dans l'excès de corpulence. Considérant le 75^{ème} percentile comme le seuil de l'excès d'IMC, nous avons observé que près de 78 % de l'excès d'IMC étaient expliqués par de la masse grasse chez les U11. Des résultats similaires (75 %) ont été rapportés chez les enfants obèses (Webster et al., 1984 ; Wells et al., 2006). Nous avons trouvé des valeurs plus basses chez les U13 (59 %) et chez les U15 (54 %). Comme cela a été constaté dans l'étude 2, l'IMM jouait un rôle de plus en plus important dans la contribution de l'excès d'IMC au fil de l'âge. Cela confortait la nécessité d'introduire une évaluation de la composition corporelle à partir de 11/12 ans afin d'être davantage discriminant. En accord avec ces résultats, Krause et al. (2015) ont montré que le dogme d'être le plus grand, le plus rapide et le plus puissant n'était pas évident chez les adolescents joueurs de rugby, et qu'utiliser uniquement le critère de la masse corporelle pour catégoriser les jeunes joueurs serait insuffisant.

H. Avantages de la catégorisation par le poids

Notre modèle de catégorie par la masse corporelle présente plusieurs avantages. Premièrement, nos résultats mettaient en évidence une diminution de la dispersion dans la plupart des caractéristiques anthropométriques, après une classification par la masse corporelle comparativement à la classification par l'âge. Les ellipses bivariées normales montraient également et graphiquement cette diminution de la dispersion dans chacune des catégories de masse corporelle. Les différences de centroïdes et de formes des ellipses signifiaient que la composition corporelle des jeunes joueurs de rugby était différente dans le modèle de classification par la masse corporelle. Cela a été confirmé par une réduction des coefficients de variation d'IMM et d'IMG. Deuxièmement, les jeunes joueurs venaient à être mélangés quant à leur âge chronologique au profit de critères tels que la masse corporelle et la taille, laissant penser par conséquent que le niveau de croissance était davantage pris en compte dans notre modèle. Il est bien connu que le niveau de croissance varie considérablement de 12 à 15 ans, et que les joueurs à maturité tardive peuvent commencer la puberté vers l'âge de 13 ou 14 ans. Il est fort probable que les jeunes joueurs de maturité tardive (dans notre étude, valeur moyenne de masse corporelle : 39,2 kg et de taille : 147,6 cm) pourraient recevoir moins d'attention de la part des entraîneurs pour être sélectionnés, et évoluer au plus haut niveau à partir du modèle de classification par l'âge (Armstrong et Welsman, 2005). En revanche dans ce contexte, l'utilisation du modèle de classification par la masse corporelle pourrait permettre d'aider à éviter l'influence des facteurs biologiques et physiques de la maturation à l'origine des différences morphologiques au sein d'un même catégorie d'âge. Enfin, sachant que plus de la moitié des jeunes joueurs de football américain classés en maturité avancée étaient obèses dans l'étude de Malina et al. (2007), il pourrait être raisonnable de penser que les joueurs obèses d'une catégorie d'âge donnée se retrouveront avec des joueurs de maturation similaire dans une catégorie de masse corporelle élevée.

I. Limites de la catégorisation par le poids

Cependant, bien que la dispersion a diminué, il existe toujours des différences importantes entre la valeur la plus élevée et la plus basse d'IMG (7,9 ; 14,6 ; et 9,0 kg.m⁻²) et d'IMM (8,6 ; 10,9 ; et 7,5 kg.m⁻²) dans chacune des catégories de masse corporelle respectives. Exprimées en valeur absolue, ces différences représentent 15,2 ; 22,2 et 28,2 kg pour la masse grasse, et 16,9 ; 26,7 et 29,7 kg pour la masse maigre. Bien qu'une stratégie de classement par la masse corporelle

puisse limiter la variance de la corpulence entre les joueurs, certaines limites doivent être tout de même considérées. Comme cela a été souligné dans ce travail, il est nécessaire d'inclure une évaluation de la composition corporelle en raison des différentes combinaisons de masse grasse et de masse maigre pour un même poids. En outre, les joueurs obèses avec un excès de masse grasse sont surclassés dans une catégorie de masse corporelle de joueurs non obèses plus âgés, ayant certes une masse corporelle ou un IMC similaire, mais avec une masse musculaire plus élevée, et donc avec certainement plus de puissance et de force. Ainsi, une grande variabilité de la composition corporelle peut persister. De plus, les changements de catégorie peuvent également entraîner une baisse de l'estime de soi. Le modèle de classification par la masse corporelle nécessite aussi de disposer d'un nombre suffisant de jeunes joueurs pour former une équipe, et d'organiser des tournois de rugby en fonction de la masse corporelle. Les développements psychologique, cognitif et des compétences rugbystiques représentant des facteurs importants de la performance ne sont pas pris en compte dans ce modèle, et devraient l'être comme le proposent Lambert et al. (2010). Comme dans de nombreux sports à catégorie de poids, les jeunes joueurs peuvent utiliser des stratégies nutritionnelles, et parfois des conduites dopantes dangereuses dans le but de modifier leur poids et leur composition corporelle. Un déséquilibre important entre la dépense énergétique et l'apport énergétique pourrait entraîner une perte de masse musculaire chez les joueurs en pleine croissance, ainsi qu'une faiblesse des os particulièrement chez les joueurs au squelette immature, affectant donc négativement la performance sportive et la santé du jeune (Carl et al., 2017). Enfin, porter une attention particulière à la nature de l'activité sportive est nécessaire, notamment lorsque le modèle de classification par la masse corporelle semble s'en éloigner notamment, eu égard au poste de jeu qu'un joueur peut prétendre en fonction de sa corpulence. Conscient des limites du modèle de classement par la masse corporelle, certains auteurs ont suggéré d'ajouter des mesures anthropométriques afin de fournir des critères de classement objectifs (Lambert et al., 2010 ; Till et al, 2011 ; Patton et al., 2016). Ainsi, il est nécessaire de trouver un modèle qui pourrait prendre en compte le statut de la composition corporelle.

J. Intérêt de la prise en compte de la composition corporelle dans le modèle de catégorisation par le poids.

Dans cette étude, l'utilisation des deux composantes de l'IMC (IMG et IMM) projetées dans le même graphique bi-dimensionnel permettait de faciliter l'évaluation des différences d'IMC entre les catégories de masse corporelle, liées aux variations de la masse grasse ou de la masse maigre. Bien que le niveau de maturation n'ait pas été déterminé dans notre population, l'utilisation de la taille comme dénominateur normalisant la masse grasse et la masse maigre a permis de considérer un certain nombre d'attributs associés à la variance de la maturation (Wells, 2001). Nous avons proposé d'utiliser le modèle graphique d'Hattori comprenant l'IMC, l'IMG, l'IMM et le % MG. Plusieurs auteurs ont préconisé l'IMG plutôt que l'IMC pour évaluer l'obésité infantile en raison de sa plus grande sensibilité (Schutz et al., 2001 ; Okorodudu et al., 2010). Dans cette étude, le modèle graphique d'Hattori a souligné la faible capacité de l'IMC à dépister avec succès la composition corporelle chez le jeune joueur, ce qui corrobore la faible sensibilité de l'IMC à détecter l'excès d'adiposité chez les enfants et les adolescents (Javed et al, 2015). D'après Freedman et al. (2005), la précision de l'IMC pour évaluer l'adiposité variait en fonction du niveau d'adiposité, et la variabilité de l'IMG était deux fois plus importante que celle de l'IMM. En effet, nous avons pu observer une grande variabilité de la masse grasse dans notre étude. Par exemple, chez les U11 obèses avec un IMC compris entre 26 et 28 kg.m⁻², la masse grasse variait de 29 à 45 %. Chez les W30-44,9 de poids normal avec un IMC compris entre 18 et 22 kg.m⁻², la masse grasse variait de 12 à 29 %. Des observations similaires ont été faites pour chacune des catégories d'âge ou de masse corporelle. La représentation graphique d'Hattori semble également être utile pour détecter une minorité de jeunes joueurs aux morphotypes atypiques. En effet, ce modèle graphique permettait de distinguer différents sous-groupes à partir des valeurs seuils d'IMM et d'IMG (seuils : moyenne \pm 1SD), comme proposé par plusieurs auteurs (Hattori et al., 1997 ; Schutz et al., 2002). Dans le présent travail, nous avons utilisé la méthode utilisée par Hattori et al. (1997) pour caractériser les sous-groupes, et par conséquent les différents morphotypes. Les atypicités extrêmes (adipo-slender, adipo-solid, lean-slender, et lean-solid) ont été clairement identifiées et représentaient 9,3 % ; 8,2 % et 12,6 % respectivement des catégories W30-44,9, W45-59,9, et des W60-79,9.

K. Prédiction des indices de composition corporelle à partir des mesures des circonférences.

Notre quatrième étude avait pour premier objectif de proposer un outil anthropométrique en capacité de prédire la composition corporelle normalisée à la taille (IMM et IMG) du jeune joueur de rugby (9-14 ans). Notre ligne de conduite était d'orienter nos choix vers des mesures simples, objectives et fiables. La méthode doit être accessible pour des éducateurs, et ne doit pas nécessiter un apprentissage et une habileté techniques élevés, ni de matériel spécifique. Il était ainsi nécessaire de minimiser les erreurs de précision de la mesure, ainsi que de la variance inter-observateur (Kouchi et al., 1999). Il semblait alors pertinent de s'intéresser uniquement aux mesures des circonférences corporelles pour lesquelles un simple mètre ruban rétractable suffisait. Même si l'outil est effectivement simple d'usage, il est important de noter que les mesures doivent se réaliser conformément à des procédures standardisées (Callaway et al., 1988). De plus, Bray et Gray (1988a) précisent que la mesure des circonférences amène à moins d'erreur que celle des plis cutanés. Callaway et al., (1988) observent une variabilité des mesures entre différents observateurs relativement faible (0,2-1 cm). Seip et Weltman (1991) ont témoigné également que les équations anthropométriques utilisant seulement les circonférences comme prédicteurs estimaient plus précisément l'adiposité que les équations utilisant les plis cutanés. Nous nous sommes alors appuyés sur la méthode utilisant la mesure des circonférences validée pour estimer le % MG (Katch et McArdle, 1975). De plus, eu égard à notre analyse de la composition corporelle à deux compartiments, la méthode des circonférences reflète aussi bien l'évaluation de la masse grasse que de la masse maigre (Wagner et Heynard, 2000). L'évolution différenciée des segments (Garn et al., 1986) et des tissus corporels normalisés à la taille (Freedman et al., 2005) durant la puberté, une répartition singulière des tissus corporels chez les jeunes sportifs (Tsunawake et al., 1994), ou encore des capacités prédictives très variables selon le paramètre anthropométrique et la méthode d'analyse choisis chez l'enfant (Ranasinghe et al., 2020), nous ont amené néanmoins à sélectionner un nombre assez important de circonférences. Effectivement, le choix des mesures a été motivé d'une part en raison de leur bon niveau d'association avec le tissu adipeux, à l'exemple des circonférences du cou (Katz et al., 2014 ; Lou et al., 2012), du poignet (Shafiee et al., 2018), du mollet (Dumith et al., 2011) et des bras (Chaput et al., 2017), et d'autre part, afin d'assurer une bonne représentativité du corps entier (tronc, membres inférieur et supérieur). En dernier lieu, dans un souci d'une prédiction des deux compartiments normalisés à la taille (IMM et IMG), et *in fine* d'un

morphotype, ce choix a également tenu compte de la considération qu'une même circonférence ne peut témoigner de façon concomitante du niveau d'adiposité et du niveau de masse maigre. Pour illustration, Chomtho et al. (2006) ont reporté que la circonférence du bras était fortement corrélée avec la masse grasse, (expliquant 63 % de sa variabilité), mais faiblement avec la masse maigre (expliquant 16 % de sa variabilité). Ainsi douze sites de mesure ont été retenus : cheville, mollet, cuisse, hanches, cou, poignet, avant-bras, bras, épaules, thorax, abdomen et taille afin de prédire l'IMM et l'IMG. Ce nombre important de mesures pourrait être une barrière à son utilisation sur le terrain. Cependant le choix de notre analyse statistique par la régression « pas à pas » descendante a permis d'explorer toutes ces mesures de circonférences, afin d'élaborer un modèle en préservant uniquement les circonférences les plus prédictives, tout en supprimant les moins significatives pour chacun des indices de composition corporelle (IMM et IMG). Ainsi au final, seulement 7 différentes circonférences (abdomen, bras, avant-bras, épaules, taille, cuisse et cheville) sont requises, ce qui peut nous laisser entrevoir que l'encadrement sportif puisse faire usage de cette méthode sans trop de difficulté. Outre ces considérations pratiques, nous pouvons considérer que notre modèle répond aussi à l'enjeu principal, celui de prédire efficacement les indices corporels comme le suggère la figure 50. Effectivement, nos modèles expliquent 91% des variations d'IMG et 84% de celles d'IMM. Outre l'intérêt de comparer les jeunes joueurs de rugby en fonction de leur morphotype (Lentin et al., 2021), l'IMG doté d'une meilleure sensibilité que l'IMC dans le diagnostic de l'obésité, en lien notamment avec son indépendance à la masse maigre (Schutz et al., 2002 ; Samadi et al., 2013 ; Pereira da silva et al., 2016), suggère que le modèle prédictif de l'IMG pourrait être à lui seul utilisé à cette fin. De plus, contrairement à ce que nous aurions pu penser, la variable âge vient à être exclue du modèle prédictif de l'IMM, alors qu'elle est préservée dans celui de l'IMG. Effectivement, eu égard à l'augmentation de l'IMM et à la stabilisation (voire à la diminution) de l'IMG chez le garçon pendant la puberté, la variable âge aurait pu être conservée dans le modèle prédictif de l'IMM. Il est également important de noter que la circonférence de l'abdomen semble être la variable la plus discriminante dans la prédiction de l'IMM et de l'IMG. Les coefficients de régression Bêta standardisés montraient que la variable « circonférence de l'abdomen » était plus discriminante que les autres variables dépendantes dans les deux modèles prédictifs (IMM et IMG). Les coefficients de Pearson semblent également témoigner d'un aussi bon niveau de corrélation linéaire entre « la circonférence de l'abdomen » et l'IMM ($r = 0,856$; $p < 0,01$) qu'avec l'IMG ($r = 0,918$; $p < 0,01$). Des études

complémentaires seraient à envisager afin d'explorer spécifiquement cette variable et de vérifier sa capacité à expliquer à la fois la variabilité du tissu maigre et celle du tissu gras.

Le deuxième objectif de cette étude était de présenter un outil anthropométrique en capacité de dépister des atypicités morphologiques chez le jeune joueur de rugby (9-14 ans). Comme le décrit Lentin et al. (2021), il est intéressant d'identifier les morphotypes extrêmes pour lesquels des stratégies nutritionnelles, d'entraînement et de dispensation pourraient être mises en œuvre dans une logique de santé et de sécurité. La régression « pas à pas » a également été utilisée pour pronostiquer un joueur « atypique », c'est à dire un joueur dont la valeur d'IMM comme celle d'IMG seraient $> +1$ ET et/ou < -1 ET des valeurs moyennes de son groupe d'appartenance. Ces morphotypes extrêmes identifiés par les coordonnées graphiques des valeurs d'IMM en abscisse et d'IMG en ordonné, nous ont conduit à associer ces deux valeurs dans la régression « pas à pas ». Cependant, même si ces valeurs brutes d'IMM et d'IMG ont la même unité (kg.m^2), leur conversion en Z-score était nécessaire afin que la régression puisse considérer le couple IMM/IMG comme variable dépendante. Notre modèle basé sur le Z-score combinant IMM/IMG semble ainsi proposer des perspectives intéressantes dans la détection d'atypicités. Effectivement, la procédure de régression « pas à pas » semble proposer un modèle basé sur des variables de circonférences et de plis cutanés capable de prédire des valeurs de Z-score, et susceptible d'identifier un morphotype « Adipo-Solid » et « Lean-Slender ». Comme pour la prédiction différenciée d'IMM et d'IMG, seulement 6 mesures de circonférences (bras, abdomen, cuisse, thorax, taille et mollet) sont requises. Cependant la variable « pli abdominal » est également intégrée dans le modèle, ce qui vient à complexifier la méthode, et diminuer l'accessibilité de l'outil à l'encadrement sportif. Néanmoins, des investigations complémentaires sont nécessaires afin de définir quelle valeur de Z-score (unité d'écart-type) serait à considérer pour caractériser une atypicité. En effet, l'interprétation du modèle doit être encore affinée, et son application est donc limitée. De plus, il est utile également d'étendre cette méthode à l'ensemble des quatre atypicités et en l'occurrence celles que nous n'avons pas pu explorer, « Adipo-Slender » et « Lean-Solid » en raison d'un effectif trop faible. L'étude de l'association des Z-scores de chacun des morphotypes extrêmes avec des facteurs de santé et/ou de performance pourrait être proposée en perspective de recherche. Il serait également pertinent de valider nos modèles prédictifs d'IMM et d'IMG en les comparant à des mesures issues d'une méthode « Gold-standard » comme la technique de l'absorptiométrie biphotonique à rayons X.

L. Considérations méthodologiques

Des considérations méthodologiques doivent tout de même être mentionnées pour interpréter nos résultats. Tout d'abord, le niveau de maturation n'a pas été déterminé dans notre population. Malina et al. (2007) ont observé que plus de la moitié des jeunes joueurs de football américain classés en maturité avancée étaient obèses. Comme mentionné dans l'introduction, les catégories d'âge de la Fédération Française de Rugby ont été utilisées dans notre analyse afin de réfléchir aux différences de composition corporelle dans les contraintes d'une compétition réelle. Par ailleurs, bien que des mesures de plis cutanés aient été effectuées par le même opérateur pour évaluer la composition corporelle de cet échantillon important de jeunes joueurs, plusieurs sources d'erreur de mesure sont mentionnées dans la littérature, en particulier chez les adolescents avec un niveau d'adiposité élevé. Ce modèle à deux composantes supposant que la masse grasse et la masse maigre ont une densité fixe, ne prend pas en compte les différences d'âge et la variabilité individuelle de ce paramètre (Lohman, 1992). En outre, la détermination de la densité minérale osseuse n'est pas possible avec cette méthode, contrairement à la densitométrie du corps entier. Par conséquent, il faudrait également tenir compte du fait que le contenu minéral osseux et la densité minérale osseuse sont plus élevés chez les enfants et les adolescents obèses que chez leurs pairs de poids normal (Chaplais et al., 2018). Enfin, nous avons mené une étude transversale, une étude longitudinale aurait été plus pertinente du fait de la considération des changements de composition corporelle au cours de la période pour le même joueur.

M. Applications pratiques

Les résultats de travail mettent en évidence certaines applications pratiques. Nos résultats soulignent l'importance d'interventions spécifiques avant l'âge de 13 ans pour prévenir l'augmentation de la masse grasse corporelle entre les catégories d'âge, en particulier chez les jeunes joueurs de rugby considérés en surcharge pondérale. L'augmentation de la masse grasse pendant la puberté pourrait avoir un effet négatif sur les performances et l'état de santé à l'avenir. L'utilisation de l'IMC pour détecter le surpoids et l'obésité chez le jeune joueur de rugby après 11 ans dans les clubs doit être recommandée avec prudence, en raison des corrélations significativement modérées et fortes entre l'IMC, l'IMG et l'IMM, ainsi qu'aux différentes combinaisons d'IMG et d'IMM aboutissant au même IMC. Ainsi, ces indices pourraient être utilisés pour distinguer la contribution de la masse grasse et de la masse maigre aux

changements de composition corporelle à travers l'âge chez les jeunes joueurs de rugby classés en surpoids, obèses et de poids normal selon l'IMC. En outre, l'analyse graphique de ces indices est pertinente pour identifier individuellement le morphotype du joueur. Ce modèle graphique de composition corporelle proposé dans notre travail serait de même un support méthodologique avec plusieurs perspectives et applications pratiques. Premièrement, il serait intéressant de poursuivre notre étude en examinant le risque de blessures lors de collisions physiques en fonction des morphotypes et de la composition corporelle des jeunes joueurs de rugby à XV. Une autre perspective serait d'utiliser notre modèle pour faciliter une meilleure identification du surpoids chez les jeunes joueurs. De cette manière, les différences de contribution de masse grasse et de masse maigre pourraient être distinguées à travers les différentes catégories d'âge des jeunes joueurs de rugby classés comme obèses, en surpoids ou de poids normal par l'IMC. De plus, il serait intéressant d'identifier les jeunes joueurs ayant une faible masse musculaire. Ainsi, des recommandations nutritionnelles, des stratégies d'entraînement, et la spécialisation du poste de jeu devraient être proposées en fonction des critères de composition corporelle dans un souci prophylactique ou de performance. C'est pourquoi, le suivi régulier de la composition corporelle à partir ce modèle graphique de la composition corporelle d'Hattori pourrait faciliter la détermination d'une faible masse musculaire, avec ou sans excès de masse grasse (Schutz et al., 2002). Des auteurs ont suggéré que pendant l'adolescence, différents types d'exercices réguliers comme les sauts augmentaient la masse maigre et diminuaient la masse grasse (Weeks et Beck, 2012). Enfin, il est nécessaire de proposer des valeurs de référence et d'établir des valeurs seuils spécifiques pour l'IMM et l'IMG d'un point de vue de la santé et de la sécurité des jeunes joueurs. La prévention précoce du risque potentiel de développer des co-morbidités métaboliques, cardiovasculaires ou de diagnostiquer la prédisposition des adolescents à développer une obésité à l'âge adulte grâce à l'IMM et l'IMG, doit être encouragée. Les entraîneurs devraient clairement définir des objectifs de contrôle de la composition corporelle, et de réduction de la graisse corporelle chez les jeunes joueurs de rugby.

V. Conclusions

En conclusion, 32,8 % des jeunes joueurs de rugby âgés de 9 à 14 ans étaient considérés en surpoids et 12,8 % étaient classés comme obèses selon les critères de l'IOTF. Cependant, l'IMC peut surestimer un excès d'adiposité chez un joueur ayant une masse maigre élevée. L'augmentation importante de la prévalence de la surcharge pondérale et de l'obésité lors de la transition de U13 à U15 doit être relativisée. En effet, l'augmentation de l'IMC s'expliquait par l'augmentation concomitante de la masse grasse et de la masse maigre chez les joueurs de rugby en surpoids et obèses. Par ailleurs, 53 % des jeunes joueurs classés comme obèses et en surpoids selon l'IMC présentaient un excès de masse grasse en utilisant le seuil d'IMG au 75^{ème} percentile. Chez les joueurs de poids normal, l'augmentation de l'IMC entre U11 et U15 était principalement en lien avec les changements de la masse maigre. Une suite intéressante à cette étude serait de conduire un suivi longitudinal des jeunes joueurs d'une académie d'un club de rugby professionnel et d'étudier la relation entre la progression du niveau des joueurs jusqu'à l'âge adulte et l'évolution de l'IMC en prenant en considération les indices de composition corporelle.

Le modèle de classification par la masse corporelle a permis de réduire la dispersion des indices IMG et IMM, tout en préservant l'identité des catégories d'âge. L'effet du classement par la masse corporelle sur la distribution des joueurs dépend fortement de la méthode, et des outils statistiques utilisés pour créer les catégories de masse corporelle. Malgré la classification par la masse corporelle, il subsiste encore beaucoup de variations dans la composition corporelle. Par ailleurs, le fait que les joueurs surclassés étaient principalement des joueurs obèses, et qu'une grande partie de l'excès d'IMC s'expliquait par la masse grasse chez les jeunes joueurs, des disparités de composition corporelle subsistaient entre les joueurs de même catégorie de masse corporelle. Il est donc nécessaire d'inclure l'évaluation de la composition corporelle à l'aide de l'analyse graphique de la masse grasse et de la masse maigre normalisées à la taille pour identifier des morphotypes et des atypicités, afin de concevoir des interventions individuelles dans une logique de perte de masse grasse et de gain musculaire. D'autres recherches seraient utiles afin d'améliorer le modèle de classification par la masse corporelle, tout en tenant compte d'autres dimensions (psychosociales, cognitives, ...), et du niveau de maturité de l'enfant.

Le développement d'équations anthropométriques prédictives à partir de mesures simples et accessibles comme celles des circonférences, laisse entrevoir de belles perspectives interventionnelles. L'identification de morphotypes extrêmes chez le jeune joueur de rugby

s'inscrit dans une démarche prophylactique essentielle pour un sport exigeant tel que le rugby à XV.

PERSPECTIVES

Les différents travaux présentés dans ce travail nécessitent des études complémentaires chez le jeune joueur de rugby et débouchent sur des perspectives concernant les différents sujets qui ont été abordés à savoir :

- L'analyse longitudinale de l'évolution de la composition corporelle de notre cohorte de jeunes rugbymen entre 2012 (9-14 ans) et 2022 (19-24 ans), basée sur la combinaison IMM/IMG. Il semblerait particulièrement intéressant d'explorer différentes prédictions de ces indices corporels à l'âge adulte concernant :
 - Les morphotypes
 - Le niveau de progression rugbalistique (physique et technique) ainsi que les différents postes occupés.
 - Les co-morbidités associées.
- L'analyse des changements anthropométriques séculaires à partir d'une étude transversale comparant les données 2012 à des données plus récentes. Il semblerait intéressant d'étudier le taux d'évolution séculaire des valeurs d'IMM et d'IMG (moyenne, cut-off). Effectivement, si nos données sont amenées à être utilisées comme données normatives de référence pour situer la composition corporelle d'un groupe de jeunes rugbymen (9-14 ans), il semblerait important d'actualiser ces données.
- L'analyse de l'association entre les morphotypes extrêmes et les risques de blessures, l'exposition à la pratique de jeu de l'activité physique et les performances. Il semblerait intéressant d'étudier le risque de blessure lors d'une collision en fonction de la composition corporelle des jeunes joueurs de rugby. Nous pourrions envisager d'étudier le " sprint momentum " défini comme le produit du poids du corps par la vitesse du sprint. L'application pratique du momentum pourrait permettre d'étudier l'effet des différents morphotypes et l'implication de la composition corporelle sur la performance du "momentum ", et par conséquent sur l'effet d'impact. Nous pourrions également ajouter aussi une analyse du « time-loss » en fonction des morphotypes tout en y ajoutant une évaluation de l'exposition à la pratique de jeu. En parallèle, la relation entre la combinaison IMM/IMG et les différentes mesures de performance (puissance, force, vitesse) pourrait être étudiée.
- L'évaluation de stratégies nutritionnelles (variation de la balance azotée, de balance énergétique, ...) couplées à des stratégies d'entraînement dans une logique de perte de masse grasse et de gain musculaire en fonction de la combinaison IMM/IMG. Comme

nous avons pu le montrer, notre modèle facilite la détermination d'une faible masse musculaire avec ou sans excès de masse grasse, ou encore un excès d'adiposité avec une faible ou importante masse maigre. Il serait alors pertinent d'étudier l'effet de ces différentes stratégies à partir des facteurs de composition corporelle, ainsi qu'à partir de facteurs de santé cardiorespiratoire, cardiovasculaire et métabolique.

- L'intégration de nouvelles variables indépendantes tels que les ratios « tour de taille/taille debout », « tour de hanche/taille debout », « tour de taille/tour de hanche », ou d'indices tels que celui de conicity (Valdez, 1991) dans notre modèle pourrait permettre d'étudier la relation entre les combinaisons IMM/IMG, et la répartition des graisses.
- Il serait également pertinent de valider nos modèles prédictifs d'IMM et d'IMG (réalisés à partir de mesures anthropométriques simples) en les comparant à une méthode « Gold-standard » de type DEXA.
- Il serait également intéressant de poursuivre nos travaux sur le développement de notre modèle de prédiction des morphotypes extrêmes, afin qu'il puisse s'inscrire dans une logique interventionnelle de prévention. L'étude de l'association des Z-scores de chacun des morphotypes extrêmes avec des facteurs de santé et/ou de performance est à envisager.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Allison, D. B., Zhu, S. K., Plankey, M., Faith, M. S., & Heo, M. (2002). Differential associations of body mass index and adiposity with all-cause mortality among men in the first and second National Health and Nutrition Examination Surveys (NHANES I and NHANES II) follow-up studies. *International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity*, 26(3), 410–416. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801925>
- Alpízar, M., Frydman, T. D., Reséndiz-Rojas, J. J., Trejo-Rangel, M. A., & Aldecoa-Castillo, J. M. (2020). Fat Mass Index (FMI) as a Trustworthy Overweight and Obesity Marker in Mexican Pediatric Population. *Children* (Basel, Switzerland), 7(3), 19. <https://doi.org/10.3390/children7030019>
- Archbold, H. A., Rankin, A. T., Webb, M., Nicholas, R., Eames, N. W., Wilson, R. K., et al. (2017). RISUS study : Rugby Injury Surveillance in Ulster Schools. *British journal of sports medicine*. 51, 600–606. doi : 10.1136/bjsports-2015-095491
- Armstrong, N., & Welsman, J. (2005). ‘Essay: Physiology of the child athlete’. *Lancet* 366, S44–S45. doi: 10.1016/S0140-6736(05)67845-2
- Article A.231-1 du code du sport.
- Bailey, D. A., Wedge, J. H., McCulloch, R. G., Martin, A. D., & Bernhardson, S. C. (1989). Epidemiology of fractures of the distal end of the radius in children as associated with growth. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 71(8), 1225–1231.
- Balyi I and Hamilton A. (2004). Long-term athlete development: Trainability in childhood and adolescence. *Olympic Coach* 16: 4–9,.
- Bartkowiak, S., Konarski, J. M., Strzelczyk, R., Janowski, J., & Malina, R. M. (2021). Secular change in height and weight of rural school children and youth in west-central Poland:

- 1986 to 2016. *American journal of human biology : the official journal of the Human Biology Council*, 33(2), e23461. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23461>
- Behbahani, H. B., Dorosty, A. R., & Eshraghian M. R. (2009). Assessment of obesity in children: Fat mass index versus body mass index. *Tehran university medical journal* ;67:408-14
- Benn, R. T. (1971). Some mathematical properties of weight-for-height indices used as measures of adiposity. *British journal of preventive & social medicine*, 25(1), 42–50. <https://doi.org/10.1136/jech.25.1.42>
- Beuther, D. A. (2009). Obesity and asthma. *Clinics in chest medicine*, 30(3), 479–viii. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2009.05.002>
- Bigaard, J., Frederiksen, K., Tjønneland, A., Thomsen, B. L., Overvad, K., Heitmann, B. L., & Sørensen, T. I. (2004). Body fat and fat-free mass and all-cause mortality. *Obesity research*, 12(7), 1042–1049. <https://doi.org/10.1038/oby.2004.131>
- Bisi, M. C., & Stagni, R. (2016). Development of gait motor control: what happens after a sudden increase in height during adolescence?. *Biomedical engineering online*, 15(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0159-0>
- Bleakley, C., Tully, M., & O'Connor, S. (2011). Epidemiology of adolescent rugby injuries: a systematic review. *Journal of athletic training*, 46(5), 555–565. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-46.5.555>
- Blimkie, C. J., Lefevre, J., Beunen, G. P., Renson, R., Dequeker, J., & Van Damme, P. (1993). Fractures, physical activity, and growth velocity in adolescent Belgian boys. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(7), 801–808. <https://doi.org/10.1249/00005768-199307000-00008>

- Blüher, S., Meigen, C., Gausche, R., Keller, E., Pfäffle, R., Sabin, M., Werther, G., Odeh, R., & Kiess, W. (2011). Age-specific stabilization in obesity prevalence in German children: a cross-sectional study from 1999 to 2008. *International journal of pediatric obesity : IJPO : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, 6(2-2), e199–e206. <https://doi.org/10.3109/17477166.2010.526305>
- Bray, G.A., & Gray, D.S. (1988a). Anthropometric measurements in the obese. In *Anthropometric standardization reference manual*, ed. T.G. Lohman, A.F. Roche, and R. Martorell, 131-136. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Burniat, W., Cole, T., Lissau, I., & Poskitt E. (2002). Child and adolescent obesity: causes and consequences, prevention and management. Cambridge : Cambridge University Press.
- Burton, R. F. (2007). Why is the body mass index calculated as mass/height², not as mass/height³? *Annals of human biology*, 34(6), 656–663. doi:10.1080/03014460701732962
- Butte, N. F., Hopkinson, J. M., Wong, W. W., Smith, E. O., & Ellis, K. J. (2000). Body composition during the first 2 years of life: an updated reference. *Pediatric research*, 47(5), 578–585. <https://doi.org/10.1203/00006450-200005000-00004>
- Caine, D., Purcell, L., & Maffulli, N. (2014). The child and adolescent athlete: a review of three potentially serious injuries. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*, 6, 22. <https://doi.org/10.1186/2052-1847-6-22>
- Callaway, C. W., Chumlea, W. C., Bouchard, C., Himes, J. H., Lohman, T. G., Martin, A. D., ... & Seefeldt, V. D. (1988). Anthropometric standardization reference manual. *Champaign, IL: Human Kinetics Books*, 39-54.

- Campa, F., Matias, C. N., Nikolaidis, P. T., Lukaski, H., Talluri, J., & Toselli, S. (2020). Prediction of Somatotype from Bioimpedance Analysis in Elite Youth Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 8176. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218176>
- Carl, R. L., Johnson, M. D., Martin, T. J., & Council On Sports Medicine And Fitness. (2017). Promotion of Healthy Weight-Control Practices in Young Athletes. *Pediatrics* 140, e20171871. doi: 10.1542/peds.2017-1871
- Carter, J.E.L. (2002). The Heath-Carter anthropometric somatotype : instruction manual. San Diego, San Diego State University.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2000). National Center for Health Statistics, CDC growth charts: United States.: www.cdc.gov/growthcharts. Accessed May 19, 2006.
- Chaput, J. P., Katzmarzyk, P. T., Barnes, J. D., Fogelholm, M., Hu, G., Kuriyan, R., ... & ISCOLE Research Group. (2017). Mid-upper arm circumference as a screening tool for identifying children with obesity: a 12-country study. *Pediatric obesity*, 12(6), 439-445.
- Chardon, O., & Guignon, N. (2013). « La santé des élèves de CM2 en 2007-2008, une situation contrastée selon l'origine sociale », *Études et résultats, DREES, n° 853*, septembre.
- Cheng, H. L., O'Connor, H., Kay, S., Cook, R., Parker, H., & Orr, R. (2014). Anthropometric characteristics of Australian junior representative rugby league players. *Journal of science and medicine in sport*, 17(5), 546–551. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.020>
- Choate, N., Forster, C., Almquist, J., Olsen, C., & Poth, M. (2007). The prevalence of overweight in participants in high school extramural sports. *The Journal of adolescent*

health : official publication of the Society for Adolescent Medicine, 40(3), 283–285.
<https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2006.09.014>

Chomtho, S., Fewtrell, M., Jaffe, A., Williams, J. E., & Wells, J. C. (2006). Evaluation of Arm Anthropometry for Assessing Pediatric Body Composition: Evidence from Healthy and Sick Children. *Pediatric research* 59, 860-865.
<https://doi.org/10.1203/01.pdr.0000219395.83159.91>

Cobley, S. (2016). Talent identification and development in youth sport. In: Routledge Handbook of Youth Sport. Green K and Smith A, eds. Abingdon, United Kingdom: Routledge, pp. 476–491.

Cole, T. J. (2006). Body composition in normal weight, overweight and obese children: matched case–control analyses of total and regional tissue masses, and body composition trends in relation to relative weight. *International journal of obesity*. 30, 1506–1513. doi: 10.1038/sj.ijo.0803402

Cole, T. J., Bellizzi, M. C., Flegal, K. M., & Dietz, W. H. (2000). Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *British medical journal (Clinical research ed.)*, 320(7244), 1240–1243.
<https://doi.org/10.1136/bmj.320.7244.1240>

Cole, T. J., Freeman, J. V., & Preece, M. A. (1995). Body mass index reference curves for the UK, 1990. *Archives of disease in childhood*, 73(1), 25–29.
<https://doi.org/10.1136/adc.73.1.25>

Colné, P., Frelut, M. L., Pérès, G., & Thoumie, P. (2008). Postural control in obese adolescents assessed by limits of stability and gait initiation. *Gait & posture*, 28(1), 164–169.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.11.006>

- Connor Gorber, S. Tremblay, M. Moher, D. & Gorber, B. (2007). A comparison of direct vs. self-report measures for assessing height, weight and body mass index: a systematic review. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, 8(4), 307–326. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2007.00347.x>
- Cooper, D. M., Nemet, D., & Galassetti, P. (2004). Exercise, stress, and inflammation in the growing child: from the bench to the playground. *Current opinion in pediatrics*, 16(3), 286–292. <https://doi.org/10.1097/01.mop.0000126601.29787.39>
- Cote, A. T., Harris, K. C., Panagiotopoulos, C., Sandor, G. G., & Devlin, A. M. (2013). Childhood obesity and cardiovascular dysfunction. *Journal of the american college of cardiology*, 62(15), 1309–1319. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.07.042>
- Council of Europe. (1988). Eurofit: European test of physical fitness. Rome: Council of Europe, Committee for the Development of Sport.
- Craigie, A. M., Matthews, J. N. S., Rugg-Gunn, A. J., Lake, A. A., Mathers, J. C., & Adamson, A. J. (2009). Raised Adolescent Body Mass Index Predicts the Development of Adiposity and a Central Distribution of Body Fat in Adulthood: A Longitudinal Study. *Obesity facts*, 2(3), 150–156. doi:10.1159/000218092
- Crampton, C. W. (1908). Physiological age-A fundamental principle. *American physical education review*. ;13(4):214–227. doi: 10.1080/23267224.1908.10650080.
- Cumming, S. P. (2002). Bio-psychosocial investigation of self-determined motivation in recreational and travel youth soccer programs. Doctoral dissertation, Michigan State University, East Lansing, MI,.

- Cumming, S. P., & Bunce, J. (2015). Maturation in Player Development and Practical Strategies in Premier League Academies. Rugby Football Union (RFU) Player Development Conference: The Future Player. Twickenham Stadium, United Kingdom.
- Cumming, S. P., Lloyd, R., Oliver, J., Eisenmann, J., & Malina, R. (2017). Bio-banding in Sport: Applications to Competition, Talent Identification, and Strength and Conditioning of Youth Athletes, *Strength and Conditioning Journal*. Volume 39 - Issue 2 - p 34-47 doi: 10.1519/SSC.0000000000000281
- Cumming, S. P., Sherar, L. B., Pindus, D. M., Coelho-e-Silva, M. J., Malina, R. M., & Jardine, P. (2012). A biocultural model of maturity-associated variance in adolescent physical activity. *International review of sport and exercise psychology*, 5, 23 - 43.
- Cypess, A. M., Haft, C. R., Laughlin, M. R., & Hu, H. H. (2014). Brown fat in humans: consensus points and experimental guidelines. *Cell Metabolism* ; 2;20(3):408-15. doi: 10.1016/j.cmet.2014.07.025.
- Daniels, S. R., Khoury, P. R., & Morrison, J. A. (1997). The utility of body mass index as a measure of body fatness in children and adolescents: differences by race and gender. *Pediatrics*; 99: 804-7.
- Darrall-Jones, J. D., Jones, B., & Till, K. (2015). Anthropometric and Physical Profiles of English Academy Rugby Union Players. *Journal of strength and conditioning research*, 29(8), 2086–2096. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000872>
- Darrall-Jones, J. D., Jones, B., & Till, K. (2016). Anthropometric, Sprint, and High-Intensity Running Profiles of English Academy Rugby Union Players by Position. *Journal of strength and conditioning research*, 30(5), 1348–1358. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001234>

- Davies, P. S., & Lucas, A. (1989). Quetelet's index as a measure of body fatness in young infants. *Early human development*, 20(2), 135–141. [https://doi.org/10.1016/0378-3782\(89\)90054-6](https://doi.org/10.1016/0378-3782(89)90054-6)
- De Oliveira, P. M., da Silva, F. A., Souza Oliveira, R. M., Mendes, L. L., Netto, M. P., & Cândido, A. P. (2016). Associação entre índice de massa de gordura e índice de massa livre de gordura e risco cardiovascular em adolescentes [Association between fat mass index and fat-free mass index values and cardiovascular risk in adolescents]. *Revista paulista de pediatria : orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 34(1), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.rpped.2015.06.003>
- De Peretti C., & Castetbon K., (2004). « Surpoids et obésité chez les adolescents scolarisés en classe de troisième », *Études et Résultats*, n° 283, janvier.
- Deforche, B. I., Hills, A. P., Worringham, C. J., Davies, P. S., Murphy, A. J., Bouckaert, J. J., & De Bourdeaudhuij, I. M. (2009). Balance and postural skills in normal-weight and overweight prepubertal boys. *International journal of pediatric obesity : IJPO : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, 4(3), 175–182. <https://doi.org/10.1080/17477160802468470>
- Delahunt, E., Byrne, R. B., Doolin, R. K., McInerney, R. G., Ruddock, C. T., & Green, B. S. (2013). Anthropometric profile and body composition of Irish adolescent rugby union players aged 16-18. *Journal of strength and conditioning research*, 27(12), 3252–3258. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182915ea6>
- Demerath, E. W., Schubert, C. M., Maynard, L. M., Sun, S. S., Chumlea, W. C., Pickoff, A., Czerwinski, S. A., Towne, B., & Siervogel, R. M. (2006). Do changes in body mass index percentile reflect changes in body composition in children? Data from the Fels

- Longitudinal Study. *Pediatrics*, 117(3), e487–e495. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-0572>
- Detanico, D., Kons, R. L., Fukuda, D. H., & Teixeira, A. S. (2020). Physical Performance in Young Judo Athletes: Influence of Somatic Maturation, Growth, and Training Experience. *Research quarterly for exercise and sport*, 91, 425–432. doi: 10.1080/02701367.2019.1679334
- Dietz, W. H., & Robinson, T. N. (1998). Use of the body mass index (BMI) as a measure of overweight in children and adolescents. *The Journal of pediatrics*, 132(2), 191–193. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(98\)70426-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(98)70426-3)
- Dorn, L. D., & Biro, F.M. (2011). Puberty and Its Measurement: A Decade in Review. *Journal of Research on Adolescence*, 21: 180-195. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7795.2010.00722.x>
- Drake, K. M., Beach, M. L., Longacre, M. R., Mackenzie, T., Titus, L. J., Rundle, A. G., Dalton, M. A. (2012). Influence of sports, physical education, and active commuting to school on adolescent weight status. *Pediatrics* ;130(2):e296-304. doi: 10.1542/peds.2011-2898
- DREES. (2004). Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques, de Peretti C. Surpoids et obésité chez les adolescents scolarisés en classe de troisième. *Études et Résultats* ; (283). Retrieved from <http://drees.social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/er283.pdf> 24
- DREES. (2008). Direction de la recherche, des études, l'évaluation et des statistiques, Guignon N. La santé des enfants scolarisés en CM2 en 2004–2005. *Premiers résultats. Études et Résultats*; (632). Retrieved from <http://drees.socialsante.gouv.fr/IMG/pdf/er632.pdf>

- Dumith, S. C., Muraro, M. F. R., Monteiro, A. R., Machado, K. P., Dias, M., & Oliz, M. M. (2018). Diagnostic properties and cutoff points for overweight prediction through anthropometric indicators in adolescents from Caracol, Piauí, Brazil, 2011. *Epidemiologia e serviços de Saúde: Rev do Sist Unico de Saude do Bras.*;27: e201715013.
- Durá-Travé, T., Gallinas-Victoriano, F., Malumbres Chacón, M., Moreno González, P., Ahmed-Mohamed, L., & Urretavizcaya-Martínez, M. (2020). Reference values of fat mass index and fat-free mass index in healthy Spanish adolescents. Valores de referencia del índice de masa grasa y el índice de masa libre de grasa en adolescentes españoles sanos. *Nutricion hospitalaria*, 37(5), 902–908. <https://doi.org/10.20960/nh.03161>
- Dwyer, T., & Blizzard, C. L. (1996). Defining obesity in children by biological endpoint rather than population distribution. *International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity*, 20(5), 472–480.
- Eliakim, A., Nemet, D., Zaldivar, F., McMurray, R. G., Culler, F. L., Galassetti, P., & Cooper, D. M. (2006). Reduced exercise-associated response of the GH-IGF-I axis and catecholamines in obese children and adolescents. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 100(5), 1630–1637. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01072.2005>
- Engeland, A., Bjørge, T., Sjøgaard, A. J., & Tverdal, A. (2003). Body mass index in adolescence in relation to total mortality: 32-year follow-up of 227,000 Norwegian boys and girls. *American journal of epidemiology*, 157(6), 517–523. <https://doi.org/10.1093/aje/kwf219>

- Engeland, A., Bjørge, T., Tverdal, A., & Sjøgaard, A. J. (2004). Obesity in adolescence and adulthood and the risk of adult mortality. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *15*(1), 79–85. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000100148.40711.59>
- Eto, C., Komiya, S., Nakao, T., & Kikkawa, K. (2004). Validity of the body mass index and fat mass index as an indicator of obesity in children aged 3-5 year. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, *23*(1), 25–30. <https://doi.org/10.2114/jpa.23.25>
- Fédération française de rugby, FFR. (2021). Annexe XIV, Règlement médical de la FFR. <https://api.www.ffr.fr/wp-content/uploads/2021/07/RG-2021-22-Annexe-XIV.pdf>
- Fédération française de rugby, FFR. (2021). Règlements généraux, 2021-2022. <https://api.www.ffr.fr/wp-content/uploads/2020/06/Titre-II.pdf>
- Fidell, L.S. and Tabachnick, B.G. (2003). Preparatory Data Analysis. In *Handbook of Psychology, I.B. Weiner (Ed.)*. <https://doi.org/10.1002/0471264385.wei0205>
- Figueiredo, A. J., Gonçalves, C. E., Coelho E Silva, M. J., & Malina, R. M. (2009). Characteristics of youth soccer players who drop out, persist or move up. *Journal of sports sciences*, *27*(9), 883–891. <https://doi.org/10.1080/02640410902946469>
- Flaherman, V., & Rutherford, G. W. (2006). A meta-analysis of the effect of high weight on asthma. *Archives of disease in childhood*, *91*(4), 334–339. <https://doi.org/10.1136/adc.2005.080390>
- Flegal, K. M., Graubard, B. I., Williamson, D. F., & Gail, M. H. (2007). Cause-Specific Excess Deaths Associated With Underweight, Overweight, and Obesity. *Journal of the american medical association*, *298*(17), 2028. doi:10.1001/jama.298.17.2028

- Freedman, D. S., Khan, L. K., Serdula, M. K., Dietz, W. H., Srinivasan, S. R., & Berenson, G. S. (2005). Racial differences in the tracking of childhood BMI to adulthood. *Obesity research, 13*(5), 928–935. <https://doi.org/10.1038/oby.2005.107>
- Freedman, D. S., Thornton, J. C., Mei, Z., Wang, J., Dietz, W. H., Pierson, R. N., Jr, & Horlick, M. (2004). Height and adiposity among children. *Obesity research, 12*(5), 846–853. <https://doi.org/10.1038/oby.2004.102>
- Freedman, D. S., Wang, J., Maynard, L. M., Thornton, J. C., Mei, Z., Pierson, R. N., Dietz, W. H., & Horlick, M. (2005). Relation of BMI to fat and fat-free mass among children and adolescents. *International journal of obesity, 29*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802735>
- Flegal, K. M., & Kalantar-Zadeh, K. (2013). Overweight, Mortality and Survival. *Obesity, 21*: 1744-1745. <https://doi.org/10.1002/oby.20588>
- Gabbett, T. J. (2005). Physiological and anthropometric characteristics of junior rugby league players over a competitive season. *Journal of strength and conditioning research, 19*(4), 764–771. <https://doi.org/10.1519/R-16804.1>
- Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Abernethy, B. (2011). Relationships between physiological, anthropometric, and skill qualities and playing performance in professional rugby league players. *Journal of sports sciences. ;29*(15):1655–1664. doi: 10.1080/02640414.2011.610346.
- Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Abernethy, B. (2010). Physiological and anthropometric correlates of tackling ability in junior elite and subelite rugby league players. *Journal of strength and conditioning research, 24*(11), 2989–2995. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f00d22>

- Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Abernethy, B. (2011). Relative importance of physiological, anthropometric, and skill qualities to team selection in professional rugby league. *Journal of sports sciences*, 29(13), 1453–1461. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.603348>
- Gabbett, T. J., Johns, J., & Riemann, M. (2008). Performance changes following training in junior rugby league players. *Journal of strength and conditioning research*, 22(3), 910–917. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a5fa5>
- Gabbett, T. J., Kelly, J., Ralph, S., & Driscoll, D. (2009). Physiological and anthropometric characteristics of junior elite and sub-elite rugby league players, with special reference to starters and non-starters. *Journal of science and medicine in sport*, 12(1), 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.06.008>
- Garn, S. M., Leonard, W. R., & Hawthorne, V. M. (1986). Three limitations of the body mass index. *The American journal of clinical nutrition*, 44(6), 996–997. <https://doi.org/10.1093/ajcn/44.6.996>
- Gavarry, O., Lentin, G., Pezery, P., Delextrat, A., Chaumet, G., Boussuges, A., & Piscione, J. (2018). A Cross-Sectional Study Assessing the Contributions of Body Fat Mass and Fat-Free Mass to Body Mass Index Scores in Male Youth Rugby Players. *Sports medicine - open*, 4(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0130-7>
- Gilsanz, V., Chung, S. A., Jackson, H., Dorey, F. J., & Hu, H. H. (2011). Functional brown adipose tissue is related to muscle volume in children and adolescents. *The Journal of pediatrics*, 158(5), 722–726. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.11.020>
- Gilsanz, V., Hu, H. H., & Kajimura, S. (2013). Relevance of brown adipose tissue in infancy and adolescence. *Pediatric research*, 73(1), 3–9. <https://doi.org/10.1038/pr.2012.141>

- Gordon-Larsen, P., The, N. S., & Adair, L. S. (2010). Longitudinal trends in obesity in the United States from adolescence to the third decade of life. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 18(9), 1801–1804. <https://doi.org/10.1038/oby.2009.451>
- Guignon, N., Delmas, M. C., Fonteneau, L., & Perrine, A. L. (2017). « La santé des élèves de CM2 en 2015 : un bilan contrasté selon l'origine sociale », *Études et Résultats*, n°993, Drees, février.
- Guo, S. S., Chumlea, W. C., Roche, A. F., & Siervogel, R. M. (1998). Age- and maturity-related changes in body composition during adolescence into adulthood: the Fels longitudinal study. *Applied radiation and isotopes : including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine*, 49 5-6, 581-5.
- Hansen, L., & Klausen, K. (2004). Development of aerobic power in pubescent male soccer players related to hematocrit, hemoglobin and maturation. A longitudinal study. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 44(3), 219–223.
- Harrison, G. G., Buskirk, E. R., Carter, J. E. L., Johnston, F. E., Lohman, T. G., & Pollock, M. L. (1988). Skinfold thicknesses and measurement technique. In: Lohman TG, Roche AF, Martorell R, editors. Anthropometric standardization reference manual. Champaign (Illinois): *Human Kinetics Books*; p. 55-70.
- Haseler, C. M., Carmont, M. R., & England, M. (2010). The epidemiology of injuries in English youth community rugby union. *British journal of sports medicine*, 44(15), 1093–1099. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.074021>
- Hattori, K. (1991). Body composition and lean body mass index for Japanese college students. *Journal of the anthropol Society of Nippon* 99: 141–148.

- Hattori, K., Tatsumi, N., & Tanaka, S. (1997). Assessment of body composition by using a new chart method. *American journal of human biology : the official journal of the Human Biology Council*, 9(5), 573–578. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6300\(1997\)9:5<573::AID-AJHB5>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(1997)9:5<573::AID-AJHB5>3.0.CO;2-V)
- He, H., Pan, L., Du, J., Jin, Y., Wang, L., Jia, P., & Shan, G. (2021). Effect of fat mass index, fat free mass index and body mass index on childhood blood pressure : a cross-sectional study in south China. *Translational pediatrics*, 10(3), 541–551. <https://doi.org/10.21037/tp-20-325>
- Heath, B. H., & Carter, J. E. (1967). A modified somatotype method. *American journal physiology anthropology*. 27(1):57-74. doi: 10.1002/ajpa.1330270108
- Heymsfield, S. B., Gallagher, D., Mayer, L., Beetsch, J., & Pietrobelli, A. (2007). Scaling of human body composition to stature: new insights into body mass index. *The American journal of clinical nutrition*, 86(1), 82–91. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.1.82>
- Heymsfield, S. B., Heo, M., Thomas, D., & Pietrobelli, A. (2011). Scaling of body composition to height: relevance to height-normalized indexes. *The American journal of clinical nutrition*, 93(4), 736–740. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.007161>
- Higgins, P. B., Gower, B. A., Hunter, G. R., & Goran, M. I. (2001). Defining health-related obesity in prepubertal children. *Obesity research*, 9(4), 233–240. <https://doi.org/10.1038/oby.2001.27>
- Hills, A. P., & Parker, A. W. (1991). Gait characteristics of obese children. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 72(6), 403–407.

- Hills, A. P., Andersen, L. B., & Byrne, N. M. (2011). Physical activity and obesity in children. *British journal of sports medicine*, 45(11), 866–870.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090199>
- Himms-Hagen, J., & Ricquier, D. (1997). Brown adipose tissue. In ; Handbook of obesity. Bray G, Bouchard C, James WPT, Eds. New York; Marcel Dekker, 415-441.
- Holmbeck, G. N. (2002). A developmental perspective on adolescent health and illness: An introduction to the special issues. *Journal of pediatric psychology*, 27, 409-416.
- Howard, S. M., Cumming, S. P., Atkinson, M., & Malina, R. M. (2016). Biological maturity-associated variance in peak power output and momentum in academy rugby union players. *European journal of sport science*. 16, 972–980. doi: 10.1080/17461391.2016.1205144
- Infante, J. R., Reyes, C., Ramos, M., Rayo, J. I., Lorente, R., Serrano, J., Domínguez, M. L., García, L., Durán, C., & Sánchez, R. (2013). The usefulness of densitometry as a method of assessing the nutritional status of athletes. Comparison with body mass index. *Revista española de medicina nuclear e imagen molecular*, 32(5), 281–285.
<https://doi.org/10.1016/j.remn.2012.09.002>
- Iuliano-Burns, S., Mirwald, R. L., & Bailey, D. A. (2001). Timing and magnitude of peak height velocity and peak tissue velocities for early, average, and late maturing boys and girls. *American journal of human biology : the official journal of the Human Biology Council*, 13(1), 1–8. [https://doi.org/10.1002/1520-6300\(200101/02\)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1520-6300(200101/02)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S)
- Javed, A., Jumean, M., Murad, M. H., Okorodudu, D., Kumar, S., Somers, V. K., Sochor, O., & Lopez-Jimenez, F. (2015). Diagnostic performance of body mass index to identify

- obesity as defined by body adiposity in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Pediatric obesity*, 10(3), 234–244. <https://doi.org/10.1111/ijpo.242>
- Javed, A., Jumean, M., Murad, M. H., Okorodudu, D., Kumar, S., Somers, V. K., Sochor, O. & Lopez-Jimenez, F. (2015). Diagnostic performance of BMI to identify obesity. *Pediatric obesity*, 10: 234-244. <https://doi.org/10.1111/ijpo.242>
- Jonnalagadda, S. S., Skinner, R., & Moore, L. (2004). Overweight athlete: fact or fiction?. *Current sports medicine reports*, 3(4), 198–205. <https://doi.org/10.1249/00149619-200408000-00005>
- Junge, A., Cheung, K., Edwards, T., & Dvorak, J. (2004). Injuries in youth amateur soccer and rugby players--comparison of incidence and characteristics. *British journal of sports medicine*, 38(2), 168–172. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.003020>
- Katch, F.I, et McArdle, W.D. (1975). Validity of body composition prediction equations for college men and women. *American journal clinical nutrition*, 28 :105.
- Katz, S. L., Vaccani, J., Bradbury, C. L., Barrowman, N., Momoli, F., Laberge, R., & Murto, K. (2012). Are Central Adiposity And Neck Circumference Predictors Of Obstructive Sleep Apnea In Children. ATS 2012.
- Kontos, A. P. (2000). The effects of perceived risk, risk-taking behaviors and body size on injury in youth sport. Doctoral dissertation, Michigan State University, East Lansing, MI.
- Kouchi, M., Mochimaru, M., Tsuzuki, K, & Yokoi, T. (1999). Interobserver errors in anthropometry. *Journal of human ergology*.;28:15–24.
- Krause, L. M., Naughton, G. A., Denny, G., Patton, D., Hartwig, T., & Gabbett, T. J. (2015). Understanding mismatches in body size, speed and power among adolescent rugby

- union players. *Journal of science and medicine in sport*, 18(3), 358–363.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.05.012>
- Krause, L. M., Naughton, G. A., Denny, G., Patton, D., Hartwig, T., & Gabbett, T. J. (2015). ‘Understanding mismatches in body size, speed and power among adolescent rugby union players’. *Journal of science and medicine in sport* 18, 358–363. doi: 10.1016/j.jsams.2014.05.012
- Krogman, W. M. (1957). Maturation age of 55 boys in the Little League World Series., *Res Q.* 1959;30(1): 54–56.
- Kyröläinen, H., Santtila, M., Nindl, B. C., & Vasankari, T. (2010). Physical fitness profiles of young men: associations between physical fitness, obesity and health. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(11), 907–920. <https://doi.org/10.2165/11536570-000000000-00000>
- Lambert, M., Forbes, J., & Brown, J. (2010). Age vs weight category rugby. 461 (Report) South Africa: South African Rugby Union. BokSmart.
- Landais, P., Besson, C., & Jais, J. P. (1994). L'évaluation de l'apport diagnostique d'un test. Principaux indices informationnels [Evaluation of the diagnostic contribution of a test. Main information indices]. *Journal de radiologie*, 75(2), 141–150.
- Laurent, J. S., Tompkins, C. L., Cioffredi, L. A., Wollenburg, E., Smith, D., & Fontaine, E. (2020). Are we underestimating overweight and obesity prevalence in children?. *Public health nursing (Boston, Mass.)*, 37(5), 655–662. <https://doi.org/10.1111/phn.12773>
- Le Gall, F., Carling, C., Williams, M., & Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players

- from an elite youth academy. *Journal of science and medicine in sport*, 13(1), 90–95.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.07.004>
- Lee, J. M., Appugliese, D., Kaciroti, N., Corwyn, R. F., Bradley, R. H., & Lumeng, J. C. (2007). Weight status in young girls and the onset of puberty [published correction appears in *Pediatrics*. Jul;120(1):251]. *Pediatrics*. 2007;119(3):e624-e630.
[doi:10.1542/peds.2006-2188](https://doi.org/10.1542/peds.2006-2188)
- Lee, K., Lee, S., Kim, S. Y., Kim, S. J., & Kim, Y. J. (2007). Percent body fat cutoff values for classifying overweight and obesity recommended by the International Obesity Task Force (IOTF) in Korean children. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 16(4), 649–655.
- Leek, D., Carlson, J. A., Cain, K. L., Henrichon, S., Rosenberg, D., Patrick, K., Sallis, J. F. (2011). Physical activity during youth sports practices. *Archives of pediatrics and adolescent medicine* ;165(4): 294-299. [doi:10.1001/archpediatrics.2010.252](https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2010.252)
- Lefevre, J., Beunen, G., Steens, G., Claessens, A., & Renson, R. (1990). Motor performance during adolescence and age thirty as related to age at peak height velocity. *Annals of human biology*, 17(5), 423–435. <https://doi.org/10.1080/03014469000001202>
- Lentin, G., Cumming, S., Piscione, J., Pezery, P., Bouchouicha, M., Gadea, J., Raymond, J. J., Duché, P., & Gavarry, O. (2021). A Comparison of an Alternative Weight-Grading Model Against Chronological Age Group Model for the Grouping of Schoolboy Male Rugby Players. *Frontiers in physiology*, 12, 670720.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.670720>

- Liem, E. T., De Lucia Rolfe, E., L'Abée, C., Sauer, P. J., Ong, K. K., & Stolk, R. P. (2009). Measuring abdominal adiposity in 6 to 7-year-old children. *European journal of clinical nutrition*, 63(7), 835–841. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2008.57>
- Lloyd, R. S. & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength and conditioning journal*; 34: 61–72.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *Journal of strength and conditioning research*, 28(5), 1454–1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- Loomba-Albrecht, L. A., & Styne, D. M. (2009). Effect of puberty on body composition. *Current opinion in endocrinology, diabetes, and obesity*, 16(1), 10–15. <https://doi.org/10.1097/med.0b013e328320d54c>
- Lou, D. H., Yin, F. Z., Wang, R., Ma, C. M., Liu, X. L., & Lu, Q. (2012). Neck circumference is an accurate and simple index for evaluating overweight and obesity in Han children. *Annals of human biology*; 39:161–5.
- Luliano-Burns, S., Mirwald, R. L. & Bailey, D. A. (2001). Timing and magnitude of peak height velocity and peak tissue velocities for early, average, and late maturing boys and girls. *American journal human biology*, 13: 1-8. [https://doi.org/10.1002/1520-6300\(200101/02\)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1520-6300(200101/02)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S)
- Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *European journal of applied physiology*, 91(5-6), 555–562. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0995-z>

- Malina, R. M., Morano, P. J., Barron, M., Miller, S. J., & Cumming, S. P. (2005). Growth status and estimated growth rate of youth football players: a community-based study. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, *15*(3), 125–132. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000164287.42066.63>
- Malina, R. M., Morano, P. J., Barron, M., Miller, S. J., Cumming, S. P., Kontos, A. P., & Little, B. B. (2007). Overweight and obesity among youth participants in American football. *The Journal of pediatrics*, *151*(4), 378–382. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2007.03.044>
- Malina, R. M., Morano, P. J., Barron, M., Miller, S. J., Cumming, S. P., Kontos, A. P., & Little, B. B. (2007). Overweight and obesity among youth participants in American football. *The Journal of pediatrics*, *151*(4), 378–382. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2007.03.044>
- Malina, R. M., Peña Reyes, M. E., Eisenmann, J. C., Horta, L., Rodrigues, J., & Miller, R. (2000). Height, mass and skeletal maturity of elite Portuguese soccer players aged 11-16 years. *Journal of sports sciences*, *18*(9), 685–693. <https://doi.org/10.1080/02640410050120069>
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British journal of sports medicine*, *49*(13), 852–859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). Growth Maturation and Physical Activity. Champaign, IL: *Human Kinetics*.

- Marchi, A. G., Di Bello, D., Messi, G., & Gazzola, G. (1999). Permanent sequelae in sports injuries: a population based study. *Archives of disease in childhood*, 81(4), 324–328. <https://doi.org/10.1136/adc.81.4.324>
- Marques, A., Ekelund, U., & Sardinha, L. B. (2016). Associations between organized sports participation and objectively measured physical activity, sedentary time and weight status in youth. *Journal of science and medicine in sport*, 19(2):154-7. doi: 10.1016/j.jsams.2015.02.007
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1970). Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Archives of disease in childhood*, 45(239), 13–23. <https://doi.org/10.1136/adc.45.239.13>
- Martos-Moreno, G. A., Chowen, J. A., & Argente, J. (2010). Metabolic signals in human puberty: Effects of over and undernutrition. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 324:70–81.
- Mascherini, G., Galanti, G., Massetti, L., Calà, P., & Modesti, P. A. (2019). Growth Charts for Height, Weight, and BMI (6-18 y) for the Tuscany Youth Sports Population. *International journal of environmental research and public health*, 16(24), 4975. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244975>
- Mascherini, G., Petri, C., Ermini, E., Bini, V., Calà, P., Galanti, G., & Modesti, P. A. (2019). Overweight in Young Athletes: New Predictive Model of Overfat Condition. *International journal of environmental research and public health*, 16(24), 5128. <https://doi.org/10.3390/ijerph16245128>

- Maynard, L. M., Wisemandle, W., Roche, A. F., Chumlea, W. C., Guo, S. S., & Siervogel, R. M. (2001). Childhood body composition in relation to body mass index. *Pediatrics*, *107*(2), 344–350. <https://doi.org/10.1542/peds.107.2.344>
- McCoy, G. F., Piggot, J., Macafee, A. L., & Adair, I. V. (1984). Injuries of the cervical spine in schoolboy rugby football. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, *66*(4), 500–503. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.66B4.6746681>
- McCunn, R., Weston, M., Hill, J., Johnston, R. D., & Gibson, N. V. (2017). Influence of Physical Maturity Status on Sprinting Speed Among Youth Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, *31*(7), 1795–1801. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001654>
- McGraw, B., McClenaghan, B. A., Williams, H. G., Dickerson, J., & Ward, D. S. (2000). Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *81*(4), 484–489. <https://doi.org/10.1053/mr.2000.3782>
- McHugh, M. P. (2010). Oversized young athletes: a weighty concern. *British journal of sports medicine*, *44*(1), 45–49. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.068106>
- McIntosh, A. S., French, C., & Romiti, M. (2003). Study of team divisions and anthropometry in CAS rugby. Kensington: UNSW.
- Mignardot, J. B., Olivier, I., Promayon, E., & Nougier, V. (2013). Origins of balance disorders during a daily living movement in obese: can biomechanical factors explain everything?. *PloS one*, *8*(4), e60491. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060491>
- Milburn, P. D. (1990). The kinetics of rugby union scrummaging. *Journal of sports sciences*, *8*(1), 47–60. <https://doi.org/10.1080/02640419008732130>

- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Moliner-Urdiales, D., Ortega, F. B., Vicente-Rodriguez, G., Rey-Lopez, J. P., Gracia-Marco, L., Widhalm, K., Sjöström, M., Moreno, L. A., Castillo, M. J., & Ruiz, J. R. (2010). Association of physical activity with muscular strength and fat-free mass in adolescents: the HELENA study. *European journal of applied physiology*, 109(6), 1119–1127. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1457-z>
- Mooney, S. J., Baecker, A., & Rundle, A. G. (2013). Comparison of anthropometric and body composition measures as predictors of components of the metabolic syndrome in a clinical setting. *Obesity research & clinical practice*, 7(1), e55–e66. <https://doi.org/10.1016/j.orcp.2012.10.004>
- Nakao, T., & Komiya, S. (2003). Reference norms for a fat-free mass index and fat mass index in the Japanese child population. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 22(6), 293–298. <https://doi.org/10.2114/jpa.22.293>
- Neinstein, L.S. & Kaufman, FR. (2002). Chapter 1: Normal Physical Growth and Development from Neinstein L.S. *Adolescent Health Care: A Practical Guide*, 4th edition, Lippincott Williams and Wilkins.
- Nelson, T. F., Stovitz, S. D., Thomas, M., LaVoi, N. M., Bauer, K. W., & Neumark-Sztainer, D. (2011). Do youth sports prevent pediatric obesity ? A systematic review and commentary. *Current sports medicine reports*, 10(6), 360–370. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e318237bf74>

- Ng, M., Fleming, T., Robinson, M., Thomson, B., Graetz, N., Margono, C., Mullany, E. C., Biryukov, S., Abbafati, C., Abera, S. F., Abraham, J. P., Abu-Rmeileh, N. M., Achoki, T., AlBuhairan, F. S., Alemu, Z. A., Alfonso, R., Ali, M. K., Ali, R., Guzman, N. A., Ammar, W., ... & Gakidou, E. (2014). Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet (London, England)*, 384(9945), 766–781. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60460-8)
- Nikolaidis, P. T. (2013). Prevalence of overweight, and association between body mass index, body fat percent and physical fitness in male soccer players aged 14–16 years. *Science & Sports* ;28(3):125–32. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2012.12.002>.
- Norgan, N. G., & Ferro-Luzzi, A. (1982). Weight-height indices as estimators of fatness in men. *Human nutrition. Clinical nutrition*, 36(5), 363–372.
- Nutton, R. W., Hamilton, D. F., Hutchison, J. D., Mitchell, M. J., Simpson, A. H., & Maclean, J. G. (2012). Variation in physical development in schoolboy rugby players: can maturity testing reduce mismatch?. *British medicine journal open*, 2(4), e001149. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001149>
- Ode, J. J., Pivarnik, J. M., Reeves, M. J., & Knous, J. L. (2007). Body mass index as a predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(3), 403–409. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000247008.19127.3e>
- Okorodudu, D. O., Jumean, M. F., Montori, V. M., Romero-Corral, A., Somers, V. K., Erwin, P. J., & Lopez-Jimenez, F. (2010). ‘Diagnostic performance of body mass index to identify obesity as defined by body adiposity: a systematic review and meta-analysis’. *International journal of obesity*. 34, 791–799. doi: 10.1038/ijo.2010.5

- Olds, T. S., Tomkinson, G. R., Ferrar, K. E., & Maher, C. A. (2010). Trends in the prevalence of childhood overweight and obesity in Australia between 1985 and 2008. *International journal of obesity*, 34(1), 57–66. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.211>
- Ong, K. K., Emmett, P., Northstone, K., Golding, J., Rogers, I., Ness, A. R., Wells, J. C., & Dunger, D. B. (2009). Infancy weight gain predicts childhood body fat and age at menarche in girls. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 94(5), 1527–1532. <https://doi.org/10.1210/jc.2008-2489>
- Pain, M. T., Tsui, F., & Cove, S. (2008). In vivo determination of the effect of shoulder pads on tackling forces in rugby. *Journal of sports sciences*, 26(8), 855–862. <https://doi.org/10.1080/02640410801910319>
- Park, H. W., Kim, Y. H., Cho, M., Kwak, B. O., Kim, K. S., & Chung, S. (2012). Adolescent build plotting on body composition chart and the type of diabetes mellitus. *Journal of korean medical science*, 27(11), 1385–1390. <https://doi.org/10.3346/jkms.2012.27.11.1385>
- Park, H. W., Yoo, H. Y., Kim, C. H., Kim, H., Kwak, B. O., Kim, K. S., & Chung, S. (2015). Reference values of body composition indices: the Korean National Health and Nutrition Examination Surveys. *Yonsei medical journal*, 56(1), 95–102. <https://doi.org/10.3349/ymj.2015.56.1.95>
- Park, H. W., Park, K., Kim, M. H., Kim, G. S., & Chung, S. (2011). Gender differences in relationship between fat-free mass index and fat mass index among Korean children using body composition chart. *Yonsei medical journal*, 52(6), 948–952. <https://doi.org/10.3349/ymj.2011.52.6.948>

- Patton, D. A., McIntosh, A. S., & Denny, G. (2016). A Review of the Anthropometric Characteristics, Grading and Dispensation of Junior and Youth Rugby Union Players in Australia. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(8), 1067–1081. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0481-5>
- Pau, M., Sunwook, K., & Nussbaum, M. (2011). Does load carriage differentially alter postural sway in overweight vs. normal-weight schoolchildren?. *Gait & posture*, 35, 378-82. [10.1016/j.gaitpost.2011.10.354](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.10.354).
- Pelegri, A., Silva, D. A., Silva, J. M., Grigollo, L., & Petroski, E. L. (2015). Indicadores antropométricos de obesidade na predição de gordura corporal elevada em adolescentes [Anthropometric indicators of obesity in the prediction of high body fat in adolescents]. *Revista paulista de pediatria : orgao oficial da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo*, 33(1), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.rpped.2014.06.007>
- Pereira-da-Silva, L., Dias, M. P., Dionísio, E., Virella, D., Alves, M., Diamantino, C., Alonso, A., & Cordeiro-Ferreira, G. (2016). Fat mass index performs best in monitoring management of obesity in prepubertal children. *Jornal de pediatria*, 92(4), 421–426. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2015.11.003>
- Perroni, F., Pintus, A., Frandino, M., Guidetti, L., & Baldari, C. (2018). Relationship Among Repeated Sprint Ability, Chronological Age, and Puberty in Young Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 32(2), 364–371. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001799>
- Petelo, J. F. A. (2011). Aspects of dental development and skeletal maturation in New Zealand Polynesian children and adolescents [doctoral thesis]. Dunedin: University of Otago.

- Petersen, A. C., & Taylor, B. (1980). The biological approach to adolescence: Biological change and psychological adaptation. In J. Adelson (Ed.), *Handbook of adolescent psychology* (pp. 117-155). New York: Wiley-Interscience.
- Peterson, C. M., Su, H., Thomas, D. M., Heo, M., Golnabi, A. H., Pietrobelli, A., & Heymsfield, S. B. (2017). Tri-Ponderal Mass Index vs Body Mass Index in Estimating Body Fat During Adolescence. *Journal of the American Medical Association Pediatrics*, *171*(7), 629–636. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.0460>
- Petri, C., Mascherini, G., Bini, V., Anania, G., Calà, P., Toncelli, L., & Galanti, G. (2020). Integrated total body composition versus Body Mass Index in young athletes. *Minerva pediatrica*, *72*(3), 163–169. <https://doi.org/10.23736/S0026-4946.16.04439-X>
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of sports sciences*, *24*(3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>
- Pietrobelli, A., Faith, M. S., Allison, D. B., Gallagher, D., Chiumello, G., & Heymsfield, S. B. (1998). Body mass index as a measure of adiposity among children and adolescents: a validation study. *The Journal of Pediatrics*, *132*(2), 204–210. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(98\)70433-0](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(98)70433-0)
- Pineau, M. (1961). Developpement de l'enfant et dimension de la famille. *Biotypologie* *22*: 25-53.
- Plourde, G. (2002). Impact of obesity on glucose and lipid profiles in adolescents at different age groups in relation to adulthood. *BMC family practice*, *3*, 18. <https://doi.org/10.1186/1471-2296-3-18>

- Ranasinghe, P., Jayawardena, R., Gamage, N., Pujitha Wickramasinghe, V., & Hills, A. P. (2021). The range of non-traditional anthropometric parameters to define obesity and obesity-related disease in children: a systematic review. *European journal of clinical nutrition*, 75(2), 373–384. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00715-2>
- Richmond, S. A., Kang, J., & Emery, C. A. (2013). Is body mass index a risk factor for sport injury in adolescents?. *Journal of science and medicine in sport*, 16(5), 401–405. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.11.898>
- Rogol, A. D., Clark, P. A., & Roemmich, J. N. (2000). Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *The American journal of clinical nutrition*, 72(2 Suppl), 521S–8S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.2.521S>
- Rolland-Cachera, M.F., Cole T. J., Sempé, M., Tichet, J., Rossignol, C., & Charraud, A. (1991). Body Mass Index variations : centiles from birth to 87 years. *European journal of clinical nutrition*, 45(1) :13-21
- Rugby Aukland. (2021). Age/grade weight chart. <https://www.aucklandrugby.co.nz/COMMUNITY-RUGBY/Junior-1/Junior-AgeGrade-Weight-Chart-1>
- Rugby Australia. (2021). Age grade dispensation flowchart. <https://d26phqdbpt0w91.cloudfront.net/NonVideo/144af8b1-f97a-4f9a-f1dc-08d94d8a2c86.pdf>
- Rugby Australia. (2021). ‘Size for Age’ Guidelines. Physical Development Guidelines for Australian Age Grade Rugby. [1a493915-b113-401b-f1da-08d94d8a2c86.pdf](https://d26phqdbpt0w91.cloudfront.net/1a493915-b113-401b-f1da-08d94d8a2c86.pdf) (d26phqdbpt0w91.cloudfront.net)

- Rugby England. (2019). Guide to the rule and the player progression. <https://www.englandrugby.com//dxdam/fa/fa1dbfe2-9a2b-4171-9ee8259313647fc5/AG%20Flyer%202019.pdf>
- Rugby England. (2021). RFU regulation 15. <https://www.englandrugby.com/dxdam/ae/ae46f18b-65a1-4a77-b5afc7bff302e80b/RFU%20Regulation%2015.pdf>
- Rugby New Zealand. (2021). NZR Age Bands for Age Grade Rugby Tables: Boys Rugby. <https://www.nzrugby.co.nz/assets/NZR-Age-Bands-for-Age-Grade-Rugby-Tables-Boys-v2.pdf>
- Sachdev, H. S., Fall, C. H., Osmond, C., Lakshmy, R., Dey Biswas, S. K., Leary, S. D., Reddy, K. S., Barker, D. J., & Bhargava, S. K. (2005). Anthropometric indicators of body composition in young adults: relation to size at birth and serial measurements of body mass index in childhood in the New Delhi birth cohort. *The American journal of clinical nutrition*, 82(2), 456–466. <https://doi.org/10.1093/ajcn.82.2.456>
- Samadi, M., Sadrzade-Yeganeh, H., Azadbakht, L., Jafarian, K., Rahimi, A., & Sotoudeh, G. (2013). Sensitivity and specificity of body mass index in determining obesity in children. *Journal of research in medical sciences : the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 18(7), 537–542.
- Sandhu, J. S., Gupta, G., & Shenoy, S. (2010). Prediction equation for calculating fat mass in young Indian adults. *Asian journal of sports medicine*, 1(2), 101–107. <https://doi.org/10.5812/asjasm.34862>

- Sarafidis, P. A., & Bakris, G. L. (2007). The antinatriuretic effect of insulin: an unappreciated mechanism for hypertension associated with insulin resistance?. *American journal of nephrology*, 27(1), 44–54. <https://doi.org/10.1159/000098955>
- Sarría, A., García-Llop, L. A., Moreno, L. A., Fleta, J., Morellón, M. P., & Bueno, M. (1998). Skinfold thickness measurements are better predictors of body fat percentage than body mass index in male Spanish children and adolescents. *European journal of clinical nutrition*, 52(8), 573–576. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600606>
- Sathanur, R. S., Myers, L., & Berenson, G. S. (2002). Predictability of Childhood Adiposity and Insulin for Developing Insulin Resistance Syndrome (Syndrome X) in Young Adulthood. *Diabetes*, 51 (1) 204-209; DOI: 10.2337/diabetes.51.1.204
- Schutz, Y., Kyle, U. U. G., & Pichard, C. (2002). Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18-98 y. *International journal of obesity and related metabolic disorders*, 26, 953–960. doi: 10.1038/sj.ijo.0802037
- Sedeaud, S., Andy, M., Schipman, J., Schaal, K., Danial, M., Guillaume, M., Berthelot, G., & Toussaint, J. F. (2014). Secular trend: morphology and performance. *Journal of Sports Sciences*, 32:12, 1146-1154. doi: 10.1080/02640414.2014.889841
- Seip, R. & Weltman, A. (1991). Validity of skinfold and girth based regression equations for the prediction of body composition in obese adults. *American Journal Of Human Biology*, 3 :91-95
- Sen, Y., Kandemir, N., Alikasifoglu, A., Gonc, N., & Ozon, A. (2008). Prevalence and risk factors of metabolic syndrome in obese children and adolescents: the role of the severity of obesity. *European journal of pediatrics*, 167(10), 1183–1189. <https://doi.org/10.1007/s00431-007-0658-x>

- Serdula, M. K., Ivery, D., Coates, R. J., Freedman, D. S., Williamson, D. F., & Byers, T. (1993). Do obese children become obese adults? A review of the literature. *Preventive medicine*, 22(2), 167–177. <https://doi.org/10.1006/pmed.1993.1014>
- Sewry, N., Verhagen, E., Lambert, M., Van Mechelen, W., Marsh, J., Readhead, C., Viljoen, W., & Brown, J. (2018). Trends in time-loss injuries during the 2011-2016 South African.
- Shafiee, G., Qorbani, M., Heshmat, R., Djalalinia, S., Motlagh, M. E., Arefirad, T., Mahdavi Gorabi, A., Najafi, F., Asayesh, H., & Kelishadi, R. (2018). Wrist circumference as a novel predictor of obesity in children and adolescents: the CASPIAN-IV study. *Journal of pediatric endocrinology & metabolism*, 31(7), 717–725. <https://doi.org/10.1515/jpem-2017-0206>
- Rugby Youth Weeks. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(9), 2066–2073. <https://doi.org/10.1111/sms.13087>
- Shah, N. R., & Braverman, E. R. (2012). Measuring adiposity in patients: the utility of body mass index (BMI), percent body fat, and leptin. *PloS one*, 7(4), e33308. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033308>
- Sheldon, W., H., Stevens S. S., Tucker, W. B., & Ombredane André. (1950). *Les variétés de la constitution physique de l'homme: Introduction à la psychologie constitutionnelle*. Paris : Presses universitaires de France.
- Shypailo, R. J., & Wong, W. W. (2020). Fat and fat-free mass index references in children and young adults: assessments along racial and ethnic lines. *The American journal of clinical nutrition*, 112(3), 566–575. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa128>

- Siervogel, R. M., Maynard, L. M., Wisemandle, W. A., Roche, A. F., Guo, S. S., Chumlea, W. C., & Towne, B. (2000). Annual changes in total body fat and fat-free mass in children from 8 to 18 years in relation to changes in body mass index. The Fels Longitudinal Study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *904*, 420–423. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2000.tb06494.x>
- Simmonds, M., Llewellyn, A., Owen, C. G., & Woolacott, N. (2016). Predicting adult obesity from childhood obesity: a systematic review and meta-analysis. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, *17*(2), 95–107. <https://doi.org/10.1111/obr.12334>
- Sommer, A., & Twig, G. (2018). The Impact of Childhood and Adolescent Obesity on Cardiovascular Risk in Adulthood: a Systematic Review. *Current diabetes reports*, *18*(10), 91. <https://doi.org/10.1007/s11892-018-1062-9>
- Song, M. K., Lin, F. C., Ward, S.E., & Fine, J. P. (2013). Composites variables : when and how. *Nursing Research*, *62*(1) :45-49. doi :10.1097/NNR.Ob013e3182741948
- Sørensen, T., Frederiksen, P., & Heitmann, B. L. (2020). Levels and changes in body mass index decomposed into fat and fat-free mass index: relation to long-term all-cause mortality in the general population. *International journal of obesity (2005)*, *44*(10), 2092–2100. <https://doi.org/10.1038/s41366-020-0613-8>
- Srinivasan, S. R., Myers, L., & Berenson, G. S. (2002). Predictability of childhood adiposity and insulin for developing insulin resistance syndrome (syndrome X) in young adulthood: the Bogalusa Heart Study. *Diabetes*, *51*(1), 204–209. <https://doi.org/10.2337/diabetes.51.1.204>

- Sun, F., Wang, L. J., & Wang, L. (2015). Effects of weight management program on postural stability and neuromuscular function among obese children: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 16, 143. <https://doi.org/10.1186/s13063-015-0673-6>
- Sydney Junior Rugby Union. (2011). Age dispensations. *In: Competition rules*. Moore Park: SJRU. p. 11–13.
- Tanner, J. M., & Buckler, J. M. (1997). Revision and update of Tanner-Whitehouse clinical longitudinal charts for height and weight. *European journal of pediatrics*, 156(3), 248–249.
- Tanner, J. M. 1962. *Growth at Adolescence* (2nd ed.). Oxford, United Kingdom: Blackwell.
- Taylor, R. W., Jones, I. E., Williams, S. M., & Goulding, A. (2002). Body fat percentages measured by dual-energy X-ray absorptiometry corresponding to recently recommended body mass index cutoffs for overweight and obesity in children and adolescents aged 3-18 y. *The American journal of clinical nutrition*, 76(6), 1416–1421. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.6.1416>
- Teasdale, N., Simoneau, F., Corbeil, P., Handrigan, G., Tremblay, A., & Hue, O. (2013). Obesity alters balance and movement control. *Current Obesity Reports*. 2:235–40. doi: 10.1007/s13679-013-0057-8.
- Telford, R. M, Telford, R. D, Cochrane, T., Cunnigham, R. B., Olive, L.S., Davey, R. (2016). The influence of sports club participation on physical activity, fitness and body fat during childhood and adolescence. The Look Longitudinal Study. *Journal of science and medicine in sport* ;19(5):400-406. doi:10.1016/j.jsams.2015.04.008

The New York State Education Department Office of Elementary, Middle, Secondary and Continuing Education. (2016). The New York state selection/classification program for interscholastic athletic programs. New York state selection. Available at: <http://www.p12.nysed.gov/ciai/pe/documents/scrivised2005.pdf>2005. Accessed: September 15.

The, N. S., Suchindran, C., North, K. E., Popkin, B. M., & Gordon-Larsen, P. (2010). Association of adolescent obesity with risk of severe obesity in adulthood. *Journal of the american medical association*, 304(18), 2042–2047. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.1635>

Thibault, H., Conrand, B., Saubusse, E., Baine, M., & Maurice-Tison, S. (2010). Risk factors for overweight and obesity in French adolescents: physical activity, sedentary behavior and parental characteristics. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 26(2), 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.03.015>

Thivel, D., Maso, F., Aouiche, S., Coignet, B., Doré, E., & Duché, P. (2015). Nutritional responses to acute training sessions in young elite rugby players. *Appetite*, 84, 316–321. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.10.030>

Till, K., Copley, S., O' Hara, J., Cooke, C., & Chapman, C. (2014). Considering maturation status and relative age in the longitudinal evaluation of junior rugby league players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(3), 569–576. <https://doi.org/10.1111/sms.12033>

Till, K., Copley, S., O'Hara, J., Morley, D., Chapman, C., & Cooke, C. (2015). Retrospective analysis of anthropometric and fitness characteristics associated with long-term career progression in Rugby League. *Journal of science and medicine in sport*, 18(3), 310–314. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.05.003>

- Till, K., Copley, S., O'Hara, J., Brightmore, A., Cooke, C., & Chapman, C. (2011). Using anthropometric and performance characteristics to predict selection in junior UK Rugby League players. *Journal of science and medicine in sport* 14, 264–269. doi: 10.1016/j.jsams.2011.01.006
- Till, K., Copley, S., O'Hara, J., Chapman, C., & Cooke, C. (2010). Anthropometric, physiological and selection characteristics in high performance UK junior Rugby League players. *Talent Dev Excel a*: 2: 193–207.
- Till, K., Jones, B., & Geeson-Brown, T. (2016). Do physical qualities influence the attainment of professional status within elite 16-19 year old rugby league players?. *Journal of science and medicine in sport*, 19(7), 585–589. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.07.001>
- Till, K., Scantlebury, S., & Jones, B. (2017). Anthropometric and Physical Qualities of Elite Male Youth Rugby League Players. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(11), 2171–2186. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0745-8>
- Till, K., Tester, E., Jones, B., Edmonds, S., & Fahey, J. (2014). Anthropometric and physical characteristics of English academy rugby league players. *Journal of strength and conditioning research*, 28(2):319–327. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a73c0e
- Timm, N. L., Grupp-Phelan, J., & Ho, M. L. (2005). Chronic ankle morbidity in obese children following an acute ankle injury. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 159(1), 33–36. <https://doi.org/10.1001/archpedi.159.1.33>
- Toomey, C. M., Whittaker, J. L., Richmond, S. A., Owoeye, O. B., Patton, D. A., & Emery, C. A. (2021). Adiposity as a Risk Factor for Sport Injury in Youth: A Systematic Review. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy*

- of Sport Medicine*, 10.1097/JSM.0000000000000927. Advance online publication.
<https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000927>
- Torun, B., & Viteri, F.E. (1994). Influence of exercise on linear growth. *European journal of clinical nutrition* 49, (Suppl 1): S186–189.
- Tucker, R., Raftery, M., & Verhagen, E. (2016). Injury risk and a tackle ban in youth Rugby Union: reviewing the evidence and searching for targeted, effective interventions. A critical review. *British journal of sports medicine*, 50, 921–925. doi: 10.1136/bjsports-2016-096322
- Twig, G., Afek, A., Shamiss, A., Derazne, E., Landau Rabbi, M., Tzur, D., Gordon, B., & Tirosh, A. (2014). Adolescence BMI and trends in adulthood mortality: a study of 2.16 million adolescents. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 99(6), 2095–2103. <https://doi.org/10.1210/jc.2014-1213>
- Vaccani, S. L., Clarke, J. P., Hoey, J., Colley R. C., & Barrowman N. J. (2014). Creation of a reference dataset of neck sizes in children : standardizing a potential new tool for prediction of obesityassociated diseases? *BMC Pediatrics* ; 14:159.
- Valdez, R. (1991). A simple model-based index of abdominal adiposity. *Journal of clinical epidemiology*, 44, 955–956.
- Vanderwall, C., Randall Clark, R., Eickhoff, J., & Carrel, A. L. (2017). BMI is a poor predictor of adiposity in young overweight and obese children. *BMC pediatrics*, 17(1), 135. <https://doi.org/10.1186/s12887-017-0891-z>
- VanItallie, T. B., Yang, M. U., Heymsfield, S. B., Funk, R. C., & Boileau, R. A. (1990). Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators

- of nutritional status. *The american journal of clinical nutrition*, 52(6), 953–959.
<https://doi.org/10.1093/ajcn/52.6.953>
- Vänttinen, T., Blomqvist, M., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2011). Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15-year-old Finnish regional youth soccer players during a two-year follow-up. *Journal of strength and conditioning research*, 25(12), 3342–3351.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318236d0c2>
- Vasconcelos, F., Cordeiro, B. A., Rech, C. R., & Petroski, E. L. (2010). Sensitivity and specificity of the body mass index for the diagnosis of overweight/obesity in elderly. *Cadernos de saude publica*, 26(8), 1519–1527. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x2010000800006>
- Veldhuis, J. D., Roemmich, J. N., Richmond, E. J., Rogol, A. D., Lovejoy, J. C., Sheffield-Moore, M., Mauras, N., & Bowers, C. Y. (2005). Endocrine control of body composition in infancy, childhood, and puberty. *Endocrine reviews*, 26(1), 114–146.
<https://doi.org/10.1210/er.2003-0038>
- Vizmanos, B., Martí-Henneberg, C., Clivillé, R., Moreno, A. & Fernández-Ballart, J. (2001). Age of pubertal onset affects the intensity and duration of pubertal growth peak but not final height. *American journal of human biology*, 13: 409-416. <https://doi.org/10.1002/ajhb.1065>
- Wagner, D. R., & Heyward, V. H. (2000). Measures of body composition in blacks and whites : A comparative review. *American journal of clinical nutrition*. 71 : 1392-1402.
- Waldron, M., Worsfold, P., Twist, C., & Lamb, K. (2014). Changes in anthropometry and performance, and their interrelationships, across three seasons in elite youth rugby

- league players. *Journal of strength and conditioning research*, 28(11), 3128–3136.
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000000445>
- Walsh, M., Cartwright, L., Corish, C., Sugrue, S., & Wood-Martin, R. (2011). The body composition, nutritional knowledge, attitudes, behaviors, and future education needs of senior schoolboy rugby players in Ireland. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 21(5), 365–376. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.5.365>
- Wang, L., Li, J. X., Xu, D. Q., & Hong Y. L. (2008). Proprioception of ankle and knee joints in obese boys and nonobese boys. *Medical Science Monitor*, 14:CR129–135.
- Ward, S. E., Serlin, R. C., Donovan, H. S., Ameringer, S. W., Hughes, S., Pe-Romashko, K., & Wang, K. K. (2009). *Health Psychology Sep*, 28(5) :588-597
- Warner, J. T., Cowan, F. J., Dunstan, F. D., & Gregory, J. W. (1997). The validity of body mass index for the assessment of adiposity in children with disease states. *Annals of human biology*, 24(3), 209–215. <https://doi.org/10.1080/03014469700004942>
- Wearing, S. C., Hennig, E. M., Byrne, N. M., Steele, J. R., & Hills, A. P. (2006). The impact of childhood obesity on musculoskeletal form. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, 7(2), 209–218.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00216.x>
- Weber, D. R., Moore, R. H., Leonard, M. B., & Zemel, B. S. (2013). Reply to RF Burton. *The American journal of clinical nutrition*, 98(5), 1368–1369.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.113.068379>
- Webster, J. D., Hesp, R., & Garrow, J. S. (1984). The composition of excess weight in obese women estimated by body density, total body water and total body potassium. *Human nutrition clinical nutrition*, 38, 299–306.

- Weeks, B. K., & Beck, B. R. (2012). Twice-weekly, in-school jumping improves lean mass, particularly in adolescent boys. *Pediatric Obesity* 7, 196–204. doi: 10.1111/j.2047-6310.2011.00026.x
- Wells, J. C. (2001). A critique of the expression of paediatric body composition data. *Archives of disease in childhood*, 85(1), 67–72. <https://doi.org/10.1136/adc.85.1.67>
- Wells, J. C. (2000). A Hattori chart analysis of body mass index in infants and children. *International journal of obesity* ; 24, 325–329. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801132>
- Wells, J. C. (2014). Toward body composition reference data for infants, children, and adolescents. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 5(3), 320S–9S. <https://doi.org/10.3945/an.113.005371>
- Wells, J. C., & Cole, T. (2002). Adjustment of fat-free mass and fat mass for height in children aged 8 y. *International Journal of Obesity*, 26(7), 947–952. doi:10.1038/sj.ijo.0802027
- Wells, J., Davies, P., Fewtrell, M. S., & Cole, T. J. (2020). Body composition reference charts for UK infants and children aged 6 weeks to 5 years based on measurement of total body water by isotope dilution. *European journal of clinical nutrition*, 74(1), 141–148. <https://doi.org/10.1038/s41430-019-0409-x>
- Wells, J. C., Williams, J. E., Chomtho, S., Darch, T., Grijalva-Eternod, C., Kennedy, K., Haroun, D., Wilson, C., Cole, T. J., & Fewtrell, M. S. (2012). Body-composition reference data for simple and reference techniques and a 4-component model: a new UK reference child. *The American journal of clinical nutrition*, 96(6), 1316–1326. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.036970>

- Williams, D. P., Going, S. B., Lohman, T. G., Harsha, D. W., Srinivasan, S. R., Webber, L. S., & Berenson, G. S. (1992). Body fatness and risk for elevated blood pressure, total cholesterol, and serum lipoprotein ratios in children and adolescents. *American journal of public health*, 82(3), 358–363. <https://doi.org/10.2105/ajph.82.3.358>
- World Rugby. (2016). Weight Consideration Guideline. <https://www.world.rugby/news/573411/weight-consideration-guideline-for-age-grade-rugby> (updated 30 june 2020).
- Xiong, K. Y., He, H., Zhang, Y. M., & Ni, G. X. (2012). Analyses of body composition charts among younger and older chine children and adolescents aged 5 to 18 years. *BMC Public Health*;12:835. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-835>.
- Zhang, T., Whelton, P. K., Xi, B., Krousel-Wood, M., Bazzano, L., He, J., Chen, W., & Li, S. (2019). Rate of change in body mass index at different ages during childhood and adult obesity risk. *Pediatric obesity*, 14(7), e12513. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12513>

ANNEXES

ANNEXE 1 : Etude 1

A Cross-Sectional Study Assessing the Contributions of Body Fat Mass and Fat-Free Mass to Body Mass Index Scores in Male Youth Rugby Players.

O. Gavarry, G. Lentin, P. Pezery, A. Delextrat, G. Chaumet, A. Boussuges, J Piscione

Sports Medicine - Open

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

Open Access



A Cross-Sectional Study Assessing the Contributions of Body Fat Mass and Fat-Free Mass to Body Mass Index Scores in Male Youth Rugby Players

Olivier Gavarry^{1*}, Gregory Lentin², Patrick Pezery¹, Anne Delextrat³, Guillaume Chaumet⁴, Alain Boussuges² and Julien Piscione⁵

Abstract

Background: In some sports such as rugby, a large body size is an advantage, and the desire to gain weight can bring young players to become overweight or obese. The aim of this study was to evaluate the prevalence of overweight and obesity and the contribution of body fat mass index (BFMI) and fat-free mass index (FFMI) to body mass index (BMI) changes among young male rugby players (15-a-side rugby).

Methods: The criteria of the International Obesity Task Force were used to define overweight and obesity from BMI. The method of skinfold thickness was used to assess percentage of body fat (%BF), BFMI, and FFMI. Excess body fat was defined by using BFMI and %BF above the 75th percentile. Data were grouped according to the age categories of the French Rugby Federation (U11, under 11 years; U13, under 13 years; U15, under 15 years) and to BMI status (NW normal-weight versus OW/OB overweight/obese).

Results: Overall, 32.8% of the young players were overweight, and 13.8% were obese. However, 53% of young players classified as obese and overweight by BMI had an excess body fat by using BFMI above the 75th percentile. FFMI increased significantly between U11 and U13 in both groups, without significant change in BMI and BFMI. Both groups had similar significant gains in BMI and FFMI between U13 and U15, while BFMI only increased significantly in OW/OB (+18.5%). The strong correlations between BMI and %BF were systematically lower than those between BMI and BFMI. FFMI was strongly or moderately associated with BFMI.

Conclusions: Chart analysis of BFMI and FFMI could be used to distinguish changes in body composition across age categories in young male rugby players classified as normal-weight, overweight, and obese by BMI.

Keywords: Health, Children, Obesity, Rugby union, Body fat mass index

Key Points

- The prevalence of overweight included obesity (IOTF criteria) was high (46.6%) in young male rugby players aged 9–14 years. However, 53% of young players classified as obese and overweight by BMI had an excess body fat by using BFMI above the 75th percentile.
- Calculating BMI for young male rugby players in clubs to detect overweight and obesity must be used with caution due to significant moderate and strong correlations between BMI, BFMI, and FFMI and to different combinations of FFMI and BFMI that result in the same BMI.
- There is a need to include the evaluation of body composition using BFMI and FFMI chart analysis to avoid misclassification of some young male rugby players and to design individual intervention for fat loss or muscle gain.

* Correspondence: gavarry@univ-tln.fr

¹UFR STAPS, Université de Toulon, BP 20132, 83957 La Garde Cedex, France
Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2018 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

Background

Increasing spontaneous physical activity and sports participation in pediatric populations is an important recommendation in the prevention and the treatment of obesity [1]. However, the benefits of sports participation have not been systematically demonstrated in the prevention of obesity in the youth [2]. In addition, although a large number of studies have evaluated the prevalence of childhood and adolescent obesity in sedentary children, there is a paucity of research in young athletes [3–6]. In some sports such as rugby, a large body size is an advantage, and the desire to gain weight can bring young players to become overweight or obese. In another contact sport, Malina et al. [4] observed a high prevalence of overweight and obesity among young American football players (42.6%). This increase in adolescence obesity could translate later into an even greater prevalence of adulthood obesity [7]. Moreover, overweight and obesity in adolescents may contribute to a greater risk of injury while playing sports [8] due to persistent orthopedic problems and musculoskeletal pain in the lower limb [9]. In addition, childhood and adolescence obesity, characterized by reduced muscular strength in the lower limb [10] and lower aerobic fitness [11], can both result in a decrease in athletic performances.

In rugby union as in many other sports, competitions are organized according to age categories in children and adolescents to take into account the influence of growth on anthropometric characteristics and consequently performance. Several studies, conducted in the UK and Australia, focused on anthropometric characteristics in adolescent rugby players, taking into consideration the playing level and position [12, 13], physical performances [13, 14], ethnicity [12], and role in a team [15]. However, no data are available about changes in body composition in a large sample of young rugby players during pubescence. In addition, the majority of these studies in this area used body mass index (BMI) and/or percentage of body fat (%BF), which are not considered as the most relevant indexes of an excess of fat mass during growth [16]. Finally, the few studies investigating the prevalence of overweight and obesity in young athletes did not assess body composition [3–6]. Indeed, BMI is easily measurable and commonly used to classify children or adolescents as obese or overweight. However, BMI does not distinguish between fat and lean body mass, while obesity is defined as an excess body fat [17]. In the same way, using %BF is questionable due to its inability to take into account height, lean body mass, or body proportions that markedly change during growth [16]. For the reasons, VanItalie et al. [18] have recommended to use the two components of BMI as indicators of nutritional status: the body fat mass index (BFMI) and the fat-free mass index (FFMI). Thus, the

contributions of body fat mass and fat-free mass to BMI scores and excess adiposity can be determined by chart analysis [19].

In this context, the purposes of this study were (1) to assess the prevalence of overweight and obesity by using BMI in young male rugby players in order to identify the proportion of obese and overweight players having an excess adiposity by using BFMI above the 75th percentile and (2) to examine the contribution of body fat mass index (BFMI) and fat-free mass index (FFMI) to the changes in BMI across different age categories. This cross-sectional study also aimed to evaluate the differences in body composition between normal-weight and overweight/obese players. The relations between BMI, BFMI, FFMI, and %BF have been studied. We used the age categories of the French Rugby Federation in our analysis in order to reflect on differences in body composition within the constraints of real competition.

Methods

Participants and Data Collection

A total of 1000 young male rugby players involved in playing 15-a-side rugby from a population of 4442 (age 9–14 years) located in the Provence-Côte d'Azur rugby county (France) were included in a cross-sectional study conducted between September 2012 and May 2013. From these children, 738 volunteered to participate in the study and all the players were attached to clubs. Informed consent was obtained from child and parent or legal guardian prior to each child's participation. The study was approved by the Ethics Committee of the University of Toulon and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The young rugby players were divided into three groups according to age categories set by the French Rugby Federation: under 11 years (U11; 10.0 ± 0.6 years, $n = 247$), under 13 years (U13; 12.1 ± 0.5 years, $n = 261$), and under 15 years (U15; 14.0 ± 0.5 years, $n = 230$). Age was recorded as a decimal value for each child using their date of birth and the date of testing. Height and body mass were measured to the nearest 0.1 cm and 0.1 kg, respectively, using a portable stadiometer (Leicester high measure, Tanita, UK) and an electronic weighing scale (SECA 920, class 3, Germany) with participants wearing light exercise clothes without shoes. Consequently, BMI was calculated as body mass (kg) divided by height squared (m^2).

Evaluation of Body Composition

Body composition was assessed by the skinfold thickness method at selected sites with a Harpenden skinfold caliper (Baty International, England). All skinfolds were measured by a single experienced researcher to eliminate inter-tester variability. The test-retest intraclass coefficients on a random sample of 50 subjects in each age category were

greater than 0.99. Three measurements of each site were taken. If these three values varied by more than 0.2 mm, an additional measurement was taken. The mean of skinfold measurements at each site was used for statistical analysis. The protocol for precise skinfold location and measurement was carefully followed, according to the standardized procedures and guidelines described by Lohman [20]. According to the equations of Durnin and Rahaman [21], percentage body fat and fat-free mass were determined: body density (BD) = $1.1533 - 0.0643 \times \log$ sum of four skinfolds (triceps, biceps, subscapular, suprailiac), %BF = $(4.95/BD - 4.5) \times 100$. Fat mass and fat-free mass were then expressed in kilograms in order to calculate BFMI (kg m^{-2}) and FFMI (kg m^{-2}) making it possible to adjust body composition to height [20], $\text{BMI} (\text{kg m}^{-2}) = \text{BFMI} (\text{kg m}^{-2}) + \text{FFMI} (\text{kg m}^{-2})$.

Classification of Young Male Rugby Players

The prevalence of overweight and obesity was determined using the IOTF (International Obesity Task Force) criteria [17]. These criteria have been used in a previous study [4] to classify young players as normal-weight players (NW) and overweight/obese players (OW/OB), across age categories.

Excess body fat in young male rugby players was defined by using BFMI and %BF above the 75th percentile as previously described by Weber et al. [22], with the use of our reference data for BFMI (U11, > 5.6; U13, > 5.7; U15, > 8.2 kg m^{-2}) and for %BF (U11, > 26.1; U13, > 27.3; U15, > 30%).

Statistical Analysis

The statistical analysis was performed using Statistica 6.1. (Statsoft, Inc. 1984–2003). The prevalence of obesity and overweight and 95% confidence interval (CI) were calculated. A chi-square test was used to evaluate the distributions of overweight and obesity by age category. Parameters studied had a normal distribution as assessed by the Kolmogorov-Smirnov test. A two-way analysis of variance (ANOVA) was used to compare BMI, BFMI, and FFMI values between different age categories (U11, U13, U15) and between groups (normal-weight versus overweight/obese players). Post hoc comparisons were made

using Scheffe's test. Effect sizes were calculated using partial eta squared (η^2) and Cohen's *d*. Pearson correlation coefficients were calculated to examine the relationship between BMI, BFMI, and FFMI. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results

The prevalence of overweight and obesity and 95%CI by age category are presented in Table 1. Similar prevalence of overweight and obesity was observed in U11 and U13. However, the prevalence of overweight and obesity increased drastically between U13 and U15 (overweight, + 14 pts.; obesity, + 19.1 pts.; overweight and obesity, + 33.1 pts.).

Normal-weight, overweight, and obese rugby players (IOTF criteria) were classified as having excess body fat by BFMI and %BF above the 75th percentile (Table 2). For BFMI > 75th percentile, a very low percentage of normal-weight players in U11 (0.6%) and U13 (1.8%) was in this category and none in U15. 65.5% (U11), 57% (U13), and 6.7% (U15) of overweight players and 100% (U11), 94.4% (U13), and 89.4% (U15) of obese players had an excess body fat. For %BF > 75th percentile, 3.6% (U11), 4.9% (U13), and 0% (U15) of normal-weight players; 58.6% (U11), 50.6% (U13), and 15.4% (U15) of overweight players; and 95.6% (U11), 94.4% (U13), and 71.2% (U15) of obese players had an excess body fat.

For both groups, no significant difference was found in BMI between U11 and U13 whereas BMI increased significantly between U13 and U15 (NW: + 2.4 $\text{kg m}^{-2}/+ 13.2\%$, 95% CI 3.2 to 1.6, $d = 1.26$, $p < 0.001$; OW/OB: + 3.2 $\text{kg m}^{-2}/+ 13\%$, 95% CI 4.5 to 1.8, $d = 0.88$, $p < 0.001$; Fig. 1a). The significant interaction for BFMI is presented in Fig. 1b. In normal-weight players, BFMI did not change significantly across age categories. In overweight/obese players, BFMI only increased significantly between U13 and U15 (+ 1.2 $\text{kg m}^{-2}/+ 18.5\%$, 95% CI 2.0 to 0.4, $d = 0.6$, $p < 0.001$). For both overweight/obese and normal-weight players, FFMI increased significantly between U11 and U13 (NW: + 0.4 $\text{kg m}^{-2}/+ 2.8\%$, 95% CI 0.8 to 0.0, $d = 0.40$, $p < 0.001$; OW/OB: + 0.7 $\text{kg m}^{-2}/+ 6\%$, 95% CI 1.5 to 0.2, $d = 0.46$, $p = 0.02$) and between U13 and U15 (NW: + 2 $\text{kg m}^{-2}/+ 13.5\%$, 95% CI 2.4

Table 1 Prevalence of overweight and obesity in young rugby players by age category (IOTF criteria)

	Overweight		Obese		Overweight and obese	
	%	95% CI	%	95% CI	%	95% CI
IOTF						
All	32.8	29.4–36.2	13.8	11.3–16.3	46.6	43–50.2
Under 11 years	23.9	18.6–29.2	9.7	6.0–13.4	33.6	27.7–39.5
Under 13 years	30.3	24.7–35.8	7.3	4.1–10.4	37.5	31.7–43.4
Under 15 years	45.2	38.8–51.6	25.7	20–31.3	70.9	65–76.7

95% CI 95% confidence interval limits

Table 2 Percentage of normal-weight, overweight, and obese young male rugby players (IOTF criteria) having an excess body fat classified by BFMI and %BF above the 75th percentile

	Under 11 years			Under 13 years			Under 15 years		
	NW	OW	OB	NW	OW	OB	NW	OW	OB
BFMI > 75th percentile	0.6	65.5	100	1.8	57.0	94.4	0	6.7	89.4
%BF > 75th percentile	3.6	58.6	95.6	4.9	50.6	94.4	0	15.4	71.2

NW normal-weight, OW overweight, OB obese, BFMI body fat mass index, %BF percentage of body fat

to 1.5, $d = 0.54$, $p < 0.001$; OW/OB: + 2 kg m⁻²/+ 18.3%, 95% CI 2.7 to 1.2, $d = 1.05$, $p < 0.001$; Fig. 1c).

Obese/overweight players had a significantly ($p < 0.001$) greater BMI (U11: + 5.6 kg m⁻², 95% CI 6.1 to 5.1, $d = 1.69$; U13: + 5.7 kg m⁻², 95% CI 6.1 to 5.1, $d = 1.67$; U15: + 6.4 kg m⁻², 95% CI 7.2 to 5.5, $d = 1.53$), BFMI (U11: + 3.2 kg m⁻², 95% CI 3.5 to 2.8, $d = 1.70$; U13: + 3.0 kg m⁻², 95% CI 3.2 to 2.6, $d = 1.65$; U15: + 3.7 kg m⁻², 95% CI 4.2 to 3.2, $d = 1.52$), and FFMI (U11: + 2.4 kg m⁻², 95% CI 2.7 to 2.2, $d = 1.54$; U13: + 2.7 kg m⁻², 95% CI 3.0 to 2.4, $d = 1.34$; U15: + 2.7 kg m⁻², 95% CI 3.2 to 2.3, $d = 1.35$) than normal-weight players in each age category. The effect size for difference was large.

As shown in Table 3, in normal-weight players, BMI was moderately associated with BFMI ($r = 0.71$ – 0.75 , $p < 0.001$) and with FFMI ($r = 0.66$ – 0.75 , $p < 0.001$) in U11 and U15 but strongly associated with BFMI ($r = 0.85$, $p < 0.001$) and with FFMI ($r = 0.86$, $p < 0.001$) in U13. In overweight/obese players, BMI was strongly associated with BFMI ($r = 0.81$ – 0.92 , $p < 0.001$) in all age categories. In contrast, the association between BMI and FFMI was weak ($r = 0.33$, $p < 0.01$), moderate ($r = 0.72$, $p < 0.001$), and strong ($r = 0.90$, $p < 0.001$) in U11, U13, and U15, respectively. The correlations between BMI and %BF were systematically lower than those observed between BMI and BFMI (Table 3).

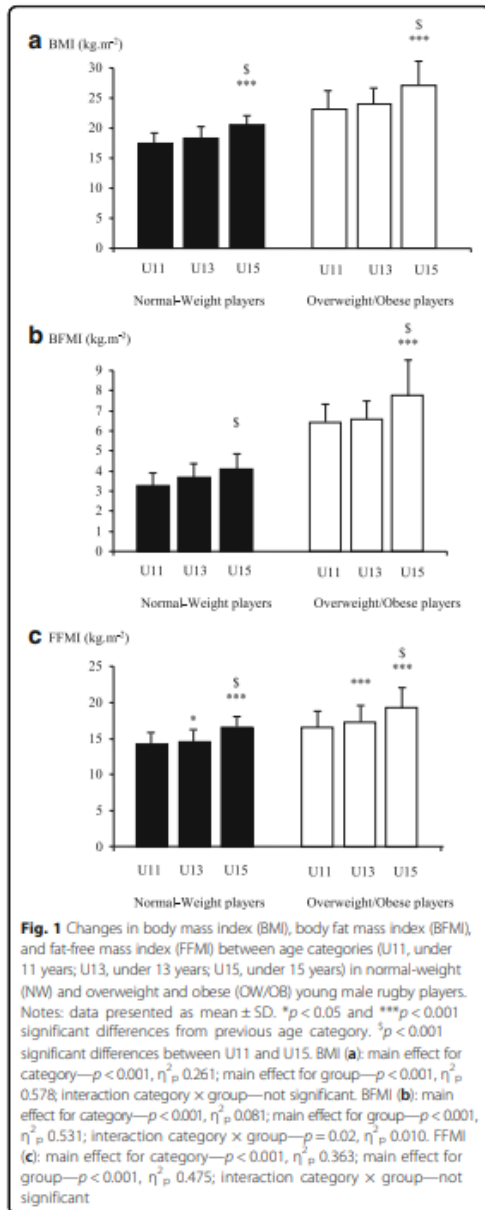
Figure 2 shows levels of FFMI and BFMI for each age category in young rugby players. FFMI was strongly associated with BFMI in U11 ($r = 0.80$, $p < 0.001$) and moderately associated with BFMI in U13 ($r = 0.66$, $p < 0.001$) and in U15 ($r = 0.77$, $p < 0.001$).

Discussion

To date, no information is available in the literature on body composition assessed from height-normalized indexes of the body's fat-free mass and fat mass in a large sample of young rugby players. The use of the two components of BMI (BFMI and FFMI) makes it possible to assess whether BMI differences between age categories are linked to the variations of fat mass or fat-free mass [18] and to calculate the proportion of players classified as normal-weight, overweight, and obese by BMI having an excess adiposity by BFMI above the 75th percentile [22].

Overall, the prevalence of overweight and obesity among 9- to 14-year-old male rugby players was high (46.6% IOTF criteria) and exceeded the values of national studies in France and in Europe. In the present study, 32.8% of the young rugby players were overweight and 13.8% were obese using the IOTF classification. Our results differ from that observed in the general population at this age in France. In a representative sample of French children aged 10–15 years [23, 24], the prevalence of overweight including obesity was considerably lower (17.5 to 19.1% in 2004–2005) to that reported in our study. To our knowledge, the comparison of our results with those from other sports is difficult because of the paucity of studies in this area [3–6]. It is interesting that the study of Malina et al. [4] has reported a similar prevalence (42.6%) to our study in young American football players.

Identifying key periods during growth for the development of excess of body fat in young rugby players may allow us to develop strategies for the prevention and treatment of this condition. According to our data, it is important to distinguish between normal weight and overweight/obese players to track body fatness across age categories in this population, as indicated by the significant interaction observed (Fig. 1b). Indeed, for normal-weight players, BFMI did not change significantly during the transition between age categories. For overweight/obese players, the significant increase in BFMI was only observed during the transition between U13 and U15 (+ 18.5%). The same result was noted for the variation in BMI in this group. However, our data clearly demonstrated a significant increase in body fat in young rugby players for both groups between U11 and U15. These results suggest important information regarding the need to design interventions to reduce body fat mass particularly in overweight and obese rugby players. Conflicting results have been reported in the literature regarding the evolution of BFMI during adolescence in the general population [22, 25–29]. However, in the only available longitudinal study, a decrease in BFMI has been observed during adolescence in American boys, reaching a minimum level at the age of 15 years old [26]. It is important to note that FFMI increased significantly between age categories and by the same extent for both groups (around + 16%). This pattern of variation is



characterized by a small increase (NW, +2.8%; OW/OB, +4.2%) between U11 and U13 and a larger increase during the transition between U13 and U15 (NW, +13.5%; OW/OB, +11.3%). These results are consistent with the previous

Table 3 Pearson correlation coefficients between body mass index, body fat mass index, fat-free mass index, and percentage of body fat in young male rugby players

	BFMI (kg m ⁻²)	FFMI (kg m ⁻²)	%BF
Under 11 years			
Overall	0.96***	0.94***	0.87***
Normal-weight	0.75***	0.66***	0.64***
Overweight/obese	0.89***	0.34**	0.74***
Under 13 years			
Overall	0.91***	0.90***	0.79***
Normal-weight	0.85***	0.86***	0.66***
Overweight/obese	0.81***	0.72***	0.35**
Under 15 years			
Overall	0.95***	0.93***	0.82***
Normal-weight	0.71***	0.75***	0.54***
Overweight/obese	0.92***	0.90***	0.69***

BFMI body fat mass index, FFMI fat-free mass index, %BF percentage of body fat
** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

findings indicating that the increase in BMI during growth is mainly attributable to the increase in fat-free mass in adolescent boys [29]. Moreover, it is well accepted that a marked increase in fat-free mass is observed from the age of peak height velocity (on average at about 14 years in boys). Nevertheless, BMI and BFMI did not change significantly for both groups during the transition from U11 to U13. The comparison of the present results with previous studies is difficult because, to our knowledge, no study has evaluated BFMI and FFMI in young athletes during growth. In our study as a whole, average FFMI/BFMI and %BF values were 16.3/5.2 kg m⁻² and 23.3%, respectively. Lower values in non-athletes children and adolescents for similar age categories have been reported in America [26], Iran [28], and China [30]. However, in 12-year-old Brazilian adolescent boys [31], BFMI (4.8 kg m⁻²) and the prevalence of obesity (10.3%) were similar to those of our U13 players (4.7 kg m⁻²; 9.7%), but with lower FFMI. Korean boys [32] had higher BFMI (5.3 kg m⁻²) and %BF (27%) with a similar FFMI (14.3 kg m⁻²) compared to the values observed for our U11 players (FFMI/BFMI 14.9/4.4 kg m⁻²; %BF 21.5%). In the present study, the correlations between BMI and %BF ranged from 0.79 to 0.87 across age categories, improving to 0.91–0.96 when using BFMI. These high correlations between BMI, %BF, and BFMI have been reported in adolescents who had higher BMI measures [26, 27, 30].

Body mass and body size are important components of performance in rugby [14]. In our study, the average BMI for U13 is very close to the data reported in Australia adolescent rugby players [14] in a similar category (20.7 kg m⁻²). In contrast, the average BMI was higher for our U15 (25.1 versus 21.7 kg m⁻²), solely due

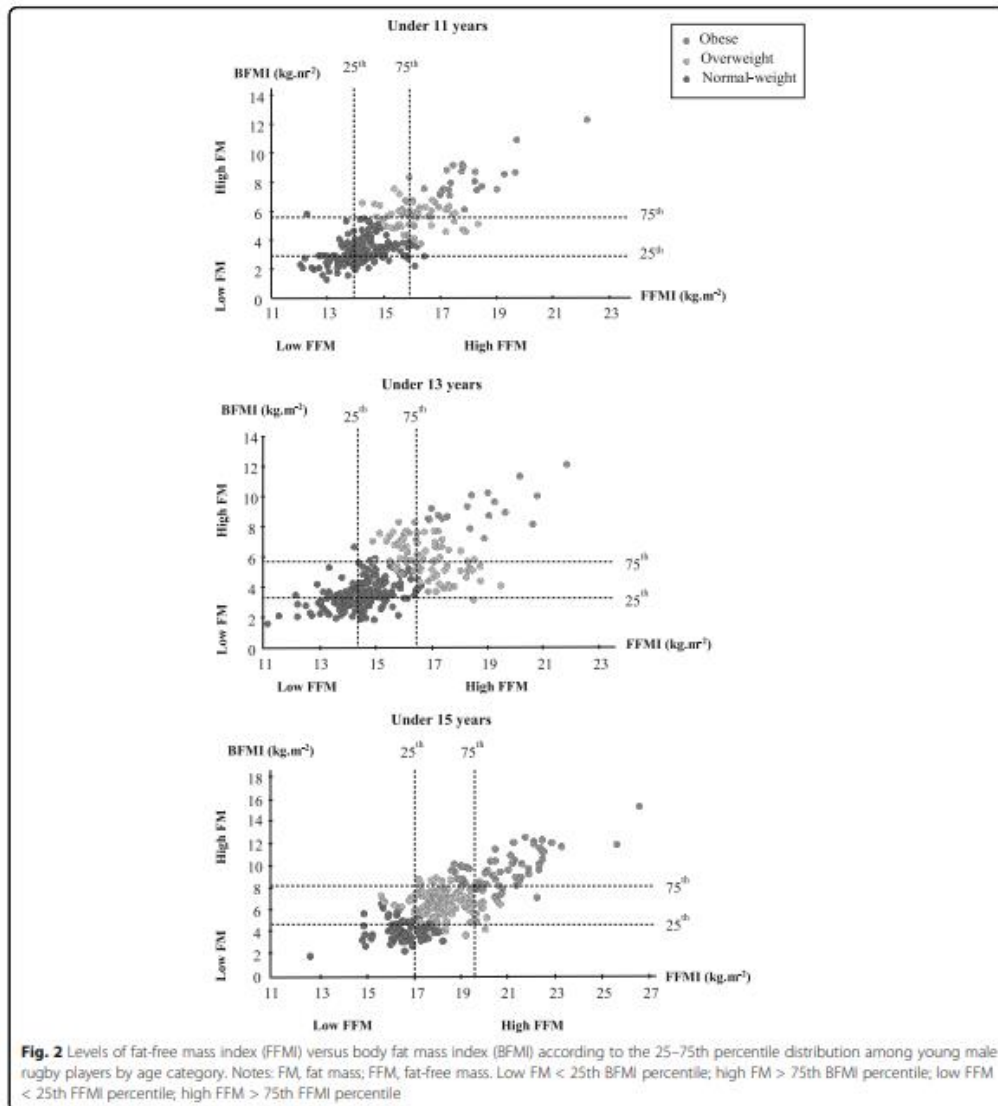


Fig. 2 Levels of fat-free mass index (FFMI) versus body fat mass index (BFMI) according to the 25–75th percentile distribution among young male rugby players by age category. Notes: FM, fat mass; FFM, fat-free mass. Low FM < 25th BFMI percentile; high FM > 75th BFMI percentile; low FFM < 25th FFMI percentile; high FFM > 75th FFMI percentile

to a greater body mass (72.8 versus 64.3 kg). In our sample, the young rugby players did not undertake any specific strength training in their clubs. Thus, it is unlikely that this difference was attributable to fat-free mass differences but rather to fat mass differences. Specialization according to playing position (forwards-backs) is not yet defined in France in these age categories. Although overweight/obese players had higher BFMI

(range, +2.9–3.7 kg m⁻²) than normal-weight in the present study, they also had higher FFMI (range, +2.4–2.7 kg m⁻²). It is important to mention that the majority of obese rugby players (from 66 to 100%) were in the highest tertile for BFMI and FFMI. Moreover, we found moderate correlations for U11 and U13 and strong correlation for U15 between BFMI and FFMI (Fig. 2), indicating a dependence between these two components of body composition. It was

suggested that being overweight could contribute to a greater fat-free mass to support an excess body weight [22]. This can be particularly true for adolescents practicing a sport such as rugby by stimulating body weight during force and power exercises. This relationship between BFMI and FFMI was weak or moderate in the general population of adolescents [27, 28]. Interestingly, Infante et al. [33] did not find any correlation between BFMI and FFMI in male rugby players competing in the regional league, with a high prevalence of overweight and obesity (79%). This conflicting observation could be partly related to a small sample size, age differences, and maintained excess body fat over a period of time. Thus, as illustrated in Table 3, it seems difficult to dissociate the elevated fat mass from the elevated fat-free mass and inversely, except for the U11 overweight/obese players in which the relationship between BMI and FFMI was weak. The latter result has been observed in the general population among relatively heavy adolescents (> 85th percentile) [27]. This suggests that the difference in BMI between young rugby players was not only due to fat mass but also to a difference in fat-free mass. On the other hand, BMI can be a useful tool to evaluate adiposity for high levels of BMI in the U11 rugby players. Ode et al. [34] pointed out that BMI incorrectly classified athletes with normal body fat mass as overweight due to a large muscle mass. It is important to indicate that a given BMI may correspond to different combinations of FFMI and BFMI in our study. For example, among U15, two players with similar BMI (22.4 and 22.3 kg m⁻²) had a BFMI of 4 and 6.6 kg m⁻², with a FFMI of 18 and 15.7 kg m⁻². So, chart analysis of BFMI and FFMI according to the 25–75th percentile distribution may be helpful to determine the contribution of body fat mass and fat-free mass to BMI and to avoid misclassification. Our results pointed out that BMI overestimated body fat mass for one player classified as overweight but having high fat-free mass with low-fat mass by BFMI. Inversely, an underestimation of body fat mass by BMI has been observed for two players classified as normal-weight by BMI (U11 and U13), but having low fat-free mass with high-fat mass by BFMI. Interestingly, none of U15 was in this situation. Using this method, Nakao and Komiya [19] considered children as obese in this condition. An interesting question is how to reach an optimal body composition for high BMI levels for players who will be likely to play as forwards. In the present sample, the BFMI of overweight and obese players was from 83.3 to 100% higher compared to normal-weight players, while FFMI was higher by only from 16.4 to 18.5%. It means that a higher BMI in obese and overweight players was mainly due to a higher body fat mass compared to normal weight players. In the same

way, Darral-Jones et al. [35] pointed out that the adiposity of forwards was 71% higher compared to backs in adolescent rugby union players. Therefore, young rugby players classified as overweight and obese in our study predestine them to become forwards. Moreover, this aspect should be considered because lower adiposity levels throughout junior age categories may partially contribute to long-term career progression [36]. Although fat mass can take on a positive role during physical collisions as a protective effect, it has been suggested that a higher fat mass could be associated with greater injury rates [37] and had a significant impact of the locomotor profile of the players [35]. Our results highlight the issue of children promoted to a higher age band in sports such as rugby, where major differences in body weight and body composition already exist between players in the same age category. For instance, in the present study, the highest and the lowest body mass for U11 were 87.2 and 22.7 kg, respectively, with a large coefficient of variation for this parameter (24%). This extreme situation in terms of body mass between young rugby players has led Australia's federation to modify their original policies, by authorizing smaller players to be exempted and compete with younger players in order to ensure their safety and to increase participation to this sport [37]. This aspect should be considered by the French Rugby Federation in which young rugby players are graded by age. In relation to this discussion, the desire to increase body mass among adolescent rugby players in order to increase power and strength can cause confusion between the concepts of body mass and body composition. Moreover, an increase of muscle mass requires an adequate resistance training program combined with a diet that supplies high energy and specific protein to produce the desired gains. In this context, young athletes are often vulnerable to misinformation about muscle growth and development because of a lack of accurate information regarding dietary requirements for muscle gain [2]. Furthermore, resistance training program with weight lifting or body weight exercises is recommended at the end of the puberty. Thus, the major risk in young rugby players is that excess calories are ingested compared to the energy spent, leading to the storage of fat in the adipose tissue. In this context, Thivel et al. [38] in France and Walsh et al. [39] in Ireland have pointed out the necessity to improve nutritional education in adolescent rugby players. Educating younger players and parents and raising awareness about the positives and negatives of increased size from fat-free mass versus fat mass are also of fundamental importance.

Methodological considerations should be mentioned to interpret our findings. Firstly, maturation level has

not been determined in our population. Malina et al. [4] observed that more than half young American football players classified in advanced maturity were obese. As mentioned in the introduction, the age categories of the French Rugby Federation have been used in our analysis in order to reflect on the differences in body composition within the constraints of real competition. Secondly, although skinfold measurements have been conducted by the same investigator to assess the body composition in this large sample of young rugby players, several sources of measurement error are mentioned in the literature, particularly in fatter adolescents. This two-component model assuming that fat and fat-free mass have a fixed density does not take into account age differences and individual variability for this parameter [20]. In addition, the determination of bone mineral density is not possible by this method as opposed to the whole body densitometry. Hence, a higher bone content and density in obese children and adolescents compared to normal-weight peers should also be taken into account [40]. Finally, we have conducted a cross-sectional study in which data is collected at a single point in time for each age category in different players. A longitudinal study is more powerful because the changes of body composition across the time span of interest are within the same players.

Findings from this study point out some practical applications. Our results highlight the importance of specific interventions before 13 years to prevent the increase of body fatness across age categories, especially in rugby players who are considered as overweight or obese. The increase in fat mass during pubescence could have a negative effect on performance and on health status in the future. Calculating BMI for young rugby players in clubs to detect overweight and obesity must be used with caution due to significantly moderate and strong correlations between BMI, BFMI, and FFMI, and to different combinations of FFMI and BFMI that result in the same BMI. Thus, these indexes could be used to distinguish the contribution of body fat mass and fat-free mass to changes in body composition across age categories in young rugby players classified as overweight, obese, and normal-weight by BMI. Moreover, the chart analysis of these indexes is relevant to identify individually the morphotype of the player. Coaches should clearly define objectives in body composition control and body fatness reduction in young rugby players.

Conclusions

In conclusion, 32.8% of young rugby players aged 9–14 years were considered as overweight and 12.8% were classified as obese according to the IOTF criteria. However, BMI can overestimate an excess of adiposity for a player having a high fat-free mass classified as obese or overweight. Thus, the drastic increase in the prevalence of overweight and obesity during the transition from U13 to U15 needs to be put into

perspective because the increase in BMI was explained by the increase of both fat mass and fat-free mass in overweight and obese rugby players. Indeed, 53% of young players classified as obese and overweight by BMI had an excess body fat by using BFMI above the 75th percentile. In normal-weight players, the increase in BMI from U11 to U15 was mainly attributable to the changes of fat-free mass. An interesting follow-up to this study would be to look at a professional rugby club with an academy and see if they have data on the progression of athletes through their academy to their first team to look at the relationship of BMI with progression to high performance.

Abbreviations

%BF: Percentage of body fat; BFMI: Body fat mass index; BMI: Body mass index; FFMI: Fat-free mass index; NW: Normal-weight; OW/OB: Overweight/obese; U11: Under 11 years; U13: Under 13 years; U15: Under 15 years

Acknowledgements

The authors wish to thank all the young rugby players and their coaches of the Provence Côte d'Azur County for their willingness to participate in this study.

Funding

This study was supported by a grant received from the French Rugby Federation. The funds were used to pay the rent of anthropometric materials and travel expenses.

Authors' Contributions

OG, AB, and JP conceived and designed the study. GL, PP, and AD assisted with the technical aspects of the protocol, recruited all participants, and were involved in the acquisition of data. OG, GL, and PP analyzed the data, and GC performed the statistical analysis. OG, GL, and AB drafted the article while AD and JP revised it critically for important intellectual content. All the authors have given final approval of the version to be published.

Ethics Approval and Consent to Participate

All experimental procedures were conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and were approved by the local ethical committee (Toulon University). Each method and potential risks were explained to the participants in detail. Written informed consent was obtained from the child and parent or legal guardian prior to each child's participation before the experiment.

Consent for Publication

Consent to publish has been obtained from the participants to report individual data.

Competing Interests

Olivier Gavarry, Gregory Lentini, Patrick Pezery, Anne Delextrat, Guillaume Chaumet, Alain Boussuges, and Julien Piscione declare that they have no competing interests.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Author details

¹UFR STAPS, Université de Toulon, BP 20132, 83957 La Garde Cedex, France.

²UMR MD2 Dysosie-Suractivité, IFR Jean Roche, Faculté de Médecine,

Université Aix-Marseille, France-Institut de Recherche Biomédicale des

Armées (IRBA), Brétigny-sur-Orge, France. ³Sport and Health Science

Department, Oxford Brookes University, Oxford, UK. ⁴Altrabio, SA, Lyon,

France. ⁵Département Recherche et Développement, Fédération Française de

Rugby, 3-5 rue Jean de Montaigu, 91463 Marcoussis, France.

Received: 5 October 2017 Accepted: 11 April 2018
Published online: 02 May 2018

References

- Hills AP, Andersen LB, Byrne NM. Physical activity and obesity in children. *Br J Sports Med*. 2011;45(11):866–87. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090199>.
- Nelson TF, Stovitz SD, Thomas M, LaVol NM, Bauer KW, Neumark-Sztainer D. Do youth sports prevent pediatric obesity? A systematic review and commentary. *Curr Sports Med Rep*. 2011;10(6):360–70. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e318237bf74>.
- Choate N, Forster C, Almqvist J, Olsen C, Poth M. The prevalence of overweight in participants in high school extramural sports. *J Adolesc Health*. 2007;40(3):283–5. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2006.09.014>.
- Malina RM, Morano PJ, Barron M, Miller SJ, Cumming SP, Kontos AP, Little BB. Overweight and obesity among youth participants in American football. *J Pediatr*. 2007;151(4):378–82. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2007.03.044>.
- Nikolaïdis PT. Prevalence of overweight, and association between body mass index, body fat percent and physical fitness in male soccer players aged 14–16 years. *Sci Sports*. 2013;28(3):125–32. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2012.12.002>.
- Thibault H, Conrand B, Saubusse E, Baine M, Maurice-Tison S. Risk factors for overweight and obesity in French adolescents: physical activity, sedentary behavior and parental characteristics. *Nutrition*. 2010;26(2):192–200. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.03.015>.
- Craigie AM, Matthews JN, Rugg-Gunn AJ, Lake AA, Mathers JC, Adamson AJ. Raised adolescent body mass index predicts the development of adiposity and a central distribution of body fat in adulthood: a longitudinal study. *Obes Facts*. 2009;2(3):150–6. <https://doi.org/10.1159/000218092>.
- McHugh MP. Overized young athletes: a weighty concern. *Br J Sports Med*. 2010;44(1):45–9. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.068106>.
- Richmond SA, Kang J, Emery CA. Is body mass index a risk factor for sport injury in adolescents? *J Sci Med Sport*. 2013;16(5):401–5. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.11.898>.
- Wearing SC, Hennig EM, Byrne NM, Steele JR, Hills AP. The impact of childhood obesity on musculoskeletal form. *Obes Rev*. 2006;7(2):209–18. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00216.x>.
- Kyröläinen H, Santtilä M, Nindl BC, Vasankari T. Physical fitness profiles of young men: associations between physical fitness, obesity and health. *Sports Med*. 2010;40(11):907–20. <https://doi.org/10.2165/11536570-000000000-00000>.
- Cheng HL, O'Connor H, Kay S, Cook R, Parker H, Orr R. Anthropometric characteristics of Australian junior representative rugby league players. *J Sci Med Sport*. 2014;17(5):546–51. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.020>.
- Till K, Cobley S, O'Hara J, Chapman C, Cooke C. A longitudinal evaluation of anthropometric and fitness characteristics in junior rugby league players considering playing position and selection level. *J Sci Med Sport*. 2013;16(5):438–43. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.09.002>.
- Krause LM, Naughton GA, Denny G, Patton D, Hartwig T, Gabbett TJ. Understanding mismatches in body size, speed and power among adolescent rugby union players. *J Sci Med Sport*. 2014;18(3):358–63. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.05.012>.
- Gabbett T, Kelly J, Ralph S, Driscoll D. Physiological and anthropometric characteristics of junior elite and sub-elite rugby league players, with special reference to starters and non-starters. *J Sci Med Sport*. 2009;12(1):215–22. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.06.008>.
- Wells JCK. A critique of the expression of paediatric body composition data. *Arch Dis Child*. 2001;85(1):67–72. PMID:11420208
- Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ*. 2000;320(7244):1–6. <https://doi.org/10.1136/bmj.320.7244.1>
- Vanitalle TB, Yang MU, Heymsfield SB, Funk RC, Boileau RA. Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status. *Am J Clin Nutr*. 1990;52(6):953–9. PMID:2239792
- Nakao T, Komiya S. Reference norms for a fat-free mass index and fat mass index in the Japanese population. *J Physiol Anthropol Appl Hum Sci*. 2003;22(6):293–8. PMID:14646264
- Lohman TG. Advances in body composition assessment. Champaign, Ill: Human Kinetics Books; 1992.
- Durnin JV, Rahaman MM. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br J Nutr*. 1967;21:681–9. PMID: 6052883
- Weber DR, Moore RH, Leonard MB, Zemel BS. Fat and lean BMI reference curves in children and adolescents and their utility in identifying excess adiposity compared with BMI and percentage body fat. *Am J Clin Nutr*. 2013;98(1):49–56. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.053611>.
- DREES. Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques, de Peretti C. Surpoids et obésité chez les adolescents scolarisés en classe de troisième. Études et Résultats 2004; (283). Retrieved from <http://drees.social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/er283.pdf>
- DREES. Direction de la recherche, des études, l'évaluation et des statistiques, Guignon N. La santé des enfants scolarisés en CM2 en 2004–2005. Premiers résultats. Études et Résultats 2008; (632). Retrieved from <http://drees.social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/er632.pdf>.
- Castilho SD, Cocetti M, De Azevedo Barros Filho A. Body mass index and body composition to sexual maturation. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2008; 21:127–33. PMID: 18422025
- Demerath EW, Schubert CM, Maynard LM, Sun SS, Chumlea WC, Pickoff A, Czerwinski SA, Towne B, Siervogel RM. Do changes in body mass index percentile reflect changes in body composition in children? Data from the Fels Longitudinal Study. *Pediatrics*. 2006;117(3):e487–95. PubMed PMID: 16510627
- Freedman DS, Wang J, Maynard LM, Thornton JC, Mei Z, Person JR, Dietz WH, Horlick M. Relation of BMI to fat and fat-free mass among children and adolescents. *Int J Obes*. 2005;29:1–8. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802735>.
- Jeddi M, Dabbaghmanesh MH, Ranjbar Omrani H, Ayatollahi SM, Bagheri Z, Bakhshayeshkaram M. Body composition reference percentiles of healthy Iranian children and adolescents in southern Iran. *Arch Iran Med*. 2014; 17(10):661–9. doi: 0141710/AIM.005
- Maynard LM, Wisemandle W, Roche AF, Chumlea WC, Guo SS, Siervogel RM. Childhood body composition in relation to body mass index. *Pediatr*. 2001; 107(2):344–50. PMID: 11158468
- Xiong KY, He H, Zhang YM, Ni GX. Analyses of body composition charts among younger and older Chinese children and adolescents aged 5 to 18 years. *BMC Public Health*. 2012;12:835. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-835>.
- De Oliveira PM, Da Silva FA, Souza Oliveira RM, Mendes LL, Netto MP, Cândido AP. Association between fat mass index and fat-free mass index values and cardiovascular risk in adolescents. *Rev Paul Pediatr*. 2016;34(1): 30–7. <https://doi.org/10.1016/j.rpped.2015.06.003>.
- Park HG, Park K, Kim MH, Kim GS, Chung S. Gender differences in relationship between fat-free mass index and fat mass index among Korean children using body composition chart. *Yonsei Med J*. 2011;52(6):948–52. <https://doi.org/10.3349/yjmj.2011.52.6.948>.
- Infante JR, Reyes C, Ramos M, Rayo J, Lorente R, Serrano J, Dominguez ML, Garcia L, Duran C, Sanchez R. The usefulness of densitometry as a method of assessing the nutritional status of athletes. Comparison with body mass index. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol*. 2013;32(5):281–5. <https://doi.org/10.1016/j.remnm.2012.09.002>.
- Ode JJ, Pivarnik JM, Reeves MJ, Knous JL. Body mass index as predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2007; 39(3):403–9. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000247008.19127.3e>.
- Darrall-Jones JD, Jones B, Till KJ. Anthropometric, sprint, and high-intensity running profiles of English academy rugby union players by position. *Strength Cond Res*. 2016;30(5):1348–58. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001234>.
- Till K, Cobley S, O'Hara J, Morley D, Chapman C, Cooke C. Retrospective analysis of anthropometric and fitness characteristics associated with long-term career progression in Rugby League. *J Sci Med Sport*. 2015;18(3):310–4. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.05.003>.
- Patton DA, McIntosh AS, Denny G. A review of the anthropometric characteristics, grading and dispensation of junior and youth rugby union. *Sports Med*. 2016;46(8):1067–81. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0481-5>.
- Thivel D, Maso F, Aouiche S, Coignet B, Doré E, Duché P. Nutritional responses to acute training in young elite rugby players. *Appetite*. 2015;84: 316–21. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.10.030>.
- Walsh M, Cartwright L, Corish C, Sugrue S, Wood-Martin R. The body composition, nutritional knowledge, attitudes, behaviors, and future education needs of senior schoolboy rugby players in Ireland. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2011;21(5):365–76. <https://doi.org/10.1123/ijsem.21.5.365>.
- Chaplais E, Naughton G, Greene D, Duthell F, Pereira B, Thivel D, Courteix D. Effects of interventions with a physical activity component on bone health in obese and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *J Bone Miner Metab*. 2018;36:12–30. doi:10.1007/s00774-0417-0858-z

ANNEXE 2 : Etude 2

Contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby

G. Lentin, P. Duché, J. Piscione, P. Pezery, J.J. Raymond, J. Gadead, R. Bou Nadera, O.
Gavarry

Science et Sports

(soumis en décembre 2020).

Science et Sports

Contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby. --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Note brève / Short note
Keywords:	prévalence du surpoids; indice de composition corporelle; enfant sportif; santé
Corresponding Author:	Grégory LENTIN, PH.D student Université de Toulon: Universite de Toulon la garde, FRANCE
First Author:	Grégory LENTIN, PH.D student
Order of Authors:	Grégory LENTIN, PH.D student Pascale DUCHE Julien PISCIONE Patrick PEZERY Jean-Jacques RAYMOND José GADEA Raymond BOU NADER Olivier GAVARRY
Abstract:	<p>Introduction : La prévalence de la surcharge pondérale (dont l'obésité), élevée chez le jeune joueur de rugby en France, soulève la question de la précision de son diagnostic à partir de l'indice de masse corporelle (IMC). Le but de cette étude était d'analyser la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez des jeunes joueurs de rugby en surpoids et obèses. Synthèse des faits et résultats : A partir de la mesure de la composition corporelle et selon l'équation : $IMC (kg.m^{-2}) = IMG (indice de masse grasse, kg.m^{-2}) + IMM (indice de masse maigre, kg.m^{-2})$, la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence a été analysée pour les joueurs en surpoids et obèses (N= 240 ; 9-14 ans), à partir de la proportion d'IMG et d'IMM au-delà de leur 75^{ème} percentile pour chacune des catégories d'âge (U11, U13, U15). Indépendamment de la sévérité de la corpulence (critères IOTF), la contribution d'IMM (%) dans l'excès de l'indice de masse corporelle augmente significativement ($p < 0.05$) entre U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) et U15 ($48,7 \pm 37,6\%$), alors que la contribution de l'IMG diminue. Par ailleurs, 18% des jeunes joueurs en surpoids et obèses ont un excès de corpulence liée exclusivement à un excès de tissu maigre. Conclusion : Nos résultats mettent en évidence une surestimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité à partir de l'utilisation de l'IMC (critères IOTF), et la nécessité d'évaluer la composition corporelle afin d'identifier les caractéristiques de l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby.</p>
Suggested Reviewers:	
Secondary Full Title:	Contribution of lean and fat tissues in excess body size among young male rugby players.
Secondary Abstract:	<p>Introduction: The high prevalence of overweight and obese young rugby players in France raises the question of the accuracy of a diagnostic from body mass index (BMI). The aim of this study was to analyze the contribution of lean and fat tissues in excess body size among young overweight and obese players. Summary of facts and results: From the measurement of body composition and according to the equation $BMI (kg.m^{-2}) = BFMI (body fat mass index, kg.m^{-2}) + FFMI (fat free mass index, kg.m^{-2})$, the contribution of lean and fat tissues in excess body size in overweight and obese players (N = 240; 9-14 years) was analyzed. Players with a BFMI and FFMI above the 75th percentile were selected for each age group (U11, U13, U15). Independently of the severity of corpulence (IOTF criteria), the contribution of FFMI in players with excess BMI increased significantly ($p < 0.05$) between U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) and U15 ($48,7 \pm 37,6\%$), while the contribution of BFMI decreased. In addition, 18% of young overweight and obese players had an excess body size related to an excess of lean tissue exclusively. Conclusion: Our results highlighted an overestimation of the prevalence of obesity when using BMI (IOTF criteria), and the need to assess body composition in order to identify the characteristics of excess body size among young rugby players.</p>
Secondary Keywords:	overweight prevalence; body composition index; young athlete; health

Titre précis

Contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby.

Contribution of lean and fat tissues in excess body size among young male rugby players.

Titre cours

Excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby.

Auteurs

G. Lentin^a, P. Duché^a, J. Piscione^b, P. Pezery^d, J.J. Raymond^{a,c}, J. Gadea^d, R. Bou Nader^a, O. Gavarry^a

Affiliations:

^a Unité de recherche Impact de l'Activité Physique sur la Santé (UR IAPS n°201723207F), Université de Toulon, campus de la Garde, CS 60584, F-83041 Toulon France.

^b Fédération Française de Rugby, Département Recherche et Développement, 3 rue Jean de Montaigu, 91460 Marcoussis, France.

^c Centre Hospitalier Intercommunal Toulon-La Seyne, 54 rue Sainte Claire Deville, 83100 Toulon, France.

^d Ligue Sud Provence-Alpes Côte d'Azur de Rugby, 579 avenue Jean Moulin, 83220 Le Pradet, France.

Auteur correspondant.

Gregory Lentin, Adresse e-mail : lentin@univ-tln.fr, Numéro : 0629224373, UR IAPS, Université de Toulon, Toulon, France.

Résumé

Introduction La prévalence de la surcharge pondérale (dont l'obésité), élevée chez le jeune joueur de rugby en France, soulève la question de la précision de son diagnostic à partir de l'indice de masse corporelle (IMC). Le but de cette étude était d'analyser la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez des jeunes joueurs de rugby en surpoids et obèses. **Synthèse des faits et résultats** : A partir de la mesure de la composition corporelle et selon l'équation : $IMC (kg.m^{-2}) = IMG (indice\ de\ masse\ grasse, kg.m^{-2}) + IMM (indice\ de\ masse\ maigre, kg.m^{-2})$, la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence a été analysée pour les joueurs en surpoids et obèses (N= 240 ; 9-14 ans), à partir de la proportion d'IMG et d'IMM au-delà de leur 75^{ème} percentile pour chacune des catégories d'âge (U11, U13, U15). Indépendamment de la sévérité de la corpulence (critères IOTF), la contribution d'IMM (%) dans l'excès de l'indice de masse corporelle augmente significativement ($p < 0.05$) entre U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) et U15 ($48,7 \pm 37,6\%$), alors que la contribution de l'IMG diminue. Par ailleurs, 18% des jeunes joueurs en surpoids et obèses ont un excès de corpulence liée exclusivement à un excès de tissu maigre. **Conclusion** : Nos résultats mettent en évidence une surestimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité à partir de l'utilisation de l'IMC (critères IOTF), et la nécessité d'évaluer la composition corporelle afin d'identifier les caractéristiques de l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby.

Abstract

Introduction: The high prevalence of overweight and obese young rugby players in France raises the question of the accuracy of a diagnostic from body mass index (BMI). The aim of this study was to analyze the contribution of lean and fat tissues in excess body size among young overweight and obese players. **Summary of facts and results:** From the measurement of body composition and according to the equation $BMI (kg.m^{-2}) = BFMI (body\ fat\ mass\ index, kg.m^{-2}) + FFMI (fat\ free\ mass\ index, kg.m^{-2})$, the contribution of lean and fat tissues in excess body size in overweight and obese players (N = 240; 9-14 years) was analyzed. Players with a BFMI and FFMI above the 75th percentile were selected for each age group (U11, U13, U15). Independently of the severity of corpulence (IOTF criteria), the contribution of FFMI in players with excess BMI increased significantly ($p < 0.05$) between U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) and U15 ($48,7 \pm 37,6\%$), while the contribution of BFMI decreased. In addition, 18% of young overweight and obese players had an excess body size related to an excess of lean tissue exclusively. **Conclusion:** Our results highlighted an overestimation of the prevalence of obesity when using BMI (IOTF criteria), and the need to assess body composition in order to identify the characteristics of excess body size among young rugby players.

Mots clefs : prévalence du surpoids; indice de composition corporelle; enfant sportif; santé.

Contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby.

Contribution of lean and fat tissues in excess body size among young male rugby players.

Résumé

Introduction : La prévalence de la surcharge pondérale (dont l'obésité), élevée chez le jeune joueur de rugby en France, soulève la question de la précision de son diagnostic à partir de l'indice de masse corporelle (IMC). Le but de cette étude était d'analyser la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence chez des jeunes joueurs de rugby en surpoids et obèses. **Synthèse des faits et résultats :** A partir de la mesure de la composition corporelle et selon l'équation : $IMC (kg.m^{-2}) = IMG (indice\ de\ masse\ grasse, kg.m^{-2}) + IMM (indice\ de\ masse\ maigre, kg.m^{-2})$, la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence a été analysée pour les joueurs en surpoids et obèses (N= 240 ; 9-14 ans), à partir de la proportion d'IMG et d'IMM au-delà de leur 75^{ème} percentile pour chacune des catégories d'âge (U11, U13, U15). Indépendamment de la sévérité de la corpulence (critères IOTF), la contribution d'IMM (%) dans l'excès de l'indice de masse corporelle augmente significativement ($p < 0.05$) entre U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) et U15 ($48,7 \pm 37,6\%$), alors que la contribution de l'IMG diminue. Par ailleurs, 18% des jeunes joueurs en surpoids et obèses ont un excès de corpulence liée exclusivement à un excès de tissu maigre. **Conclusion :** Nos résultats mettent en évidence une surestimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité à partir de l'utilisation de l'IMC (critères IOTF), et la nécessité d'évaluer la composition corporelle afin d'identifier les caractéristiques de l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby.

Abstract

Introduction: The high prevalence of overweight and obese young rugby players in France raises the question of the accuracy of a diagnostic from body mass index (BMI). The aim of this study was to analyze the contribution of lean and fat tissues in excess body size among young overweight and obese players. **Summary of facts and results:** From the measurement of body composition and according to the equation $BMI (kg.m^{-2}) = BFMI (body\ fat\ mass\ index, kg.m^{-2}) + FFMI (fat\ free\ mass\ index, kg.m^{-2})$, the contribution of lean and fat tissues in excess body size in overweight and obese players (N = 240; 9-14 years) was analyzed. Players with a BFMI and FFMI above the 75th percentile were selected for each age group (U11, U13, U15). Independently of the severity of corpulence (IOTF criteria), the contribution of FFMI in players with excess BMI increased significantly ($p < 0.05$) between U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) and U15 ($48,7 \pm 37,6\%$), while the contribution of BFMI decreased. In addition, 18% of young overweight and obese players

had an excess body size related to an excess of lean tissue exclusively. **Conclusion:** Our results highlighted an overestimation of the prevalence of obesity when using BMI (IOTF criteria), and the need to assess body composition in order to identify the characteristics of excess body size among young rugby players.

Mots clefs : prévalence du surpoids ; indice de composition corporelle ; enfant sportif ; santé.

Keywords: overweight prevalence; body composition index; young athlete; health.

Introduction

La littérature scientifique fait état d'une prévalence de la surcharge pondérale (dont l'obésité) élevée chez les jeunes joueurs de rugby en France (33-47%) [1]. Cette prévalence, très largement supérieure à celle des enfants et adolescents de la population générale (17-20%), soulève la question de la précision du diagnostic de la surcharge pondérale à partir de l'indice de masse corporelle (IMC), au sein de cette population. Cet indice, connu pour sa faible sensibilité au diagnostic de l'excès d'adiposité, ne permet pas la distinction entre la masse grasse et la masse maigre [2]. Ainsi, l'utilisation des deux indices composants l'IMC (indice de masse grasse IMG ; indice de masse maigre IMM) est recommandée pour évaluer l'excès de masse grasse chez l'enfant et l'adolescent [3], tout en prenant en considération les paramètres de croissance (taille et poids). Dans ce contexte, les objectifs de cette étude étaient d'analyser la contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence, chez des jeunes joueurs de rugby en surpoids et obèses au cours de la période pubertaire, et de reconsidérer, *in fine*, la prévalence de la surcharge pondérale de cette même population.

Démarche expérimentale

Population de l'étude

Trois cent quarante jeunes joueurs de rugby à XV de la ligue Sud Provence-Alpes Côte d'Azur (9-14 ans) considérés en surcharge pondérale (surpoids ou obèses ; critères IOTF) ont été inclus dans cette étude. Afin d'étudier la contribution de l'IMM et d'IMG dans l'excès de corpulence, seuls les joueurs dont l'IMM et/ou l'IMG étaient supérieurs à leur seuil du 75^{ème} percentile [4] ont été retenus, soit 240 (U11 : 10,0 ± 0,6 ans, n=73 ; U13 : 12,1 ± 0,5 ans, n=90 ; U15 : 14,0 ± 0,5 ans, n=77). Les consentements éclairés de l'enfant et du représentant légal ont été obtenus. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'université de Toulon et conduite conformément à la déclaration d'Helsinki.

Méthode

La méthode d'évaluation des paramètres anthropométriques et de la composition corporelle est détaillée dans une précédente étude [1]. L'IMC est représenté selon l'équation : $IMC (kg.m^{-2}) = IMG (kg.m^{-2}) + IMM (kg.m^{-2})$ [3]. Les prévalences du surpoids et l'obésité ont été évaluées à partir des seuils de l'IOTF et des valeurs de

référence de la population française. La contribution des tissus maigre et gras dans l'excès de corpulence a été déterminée pour les joueurs en surpoids et obèses à partir de la proportion d'IMM et d'IMG au-delà de leur 75ème percentile (P75) pour chacune des catégories d'âge de la population étudiée [4] selon les équations suivantes :

$$IMM_{excès}(\%) = \frac{IMM(kg.m^{-2}) - IMM_{p75}(kg.m^{-2})}{IMM(kg.m^{-2}) - IMM_{p75}(kg.m^{-2}) + IMG(kg.m^{-2}) - IMG_{p75}(kg.m^{-2})} \times 100$$

et

$$IMG_{excès}(\%) = 100 - IMM_{excès}(\%)$$

La caractéristique de l'excès de corpulence est déterminée par la prédominance d'un des deux compartiments (>50%).

Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée au moyen du logiciel Statistica 6.1 (Statsoft, Inc 1984-2003). Un test de Khi-deux de conformité a été utilisé pour évaluer la distribution des joueurs en surpoids et obèses selon la catégorie d'âge. Les variables étudiées sont distribuées selon la loi normale après évaluation du test Shapiro. Une analyse de variance à 2 facteurs (ANOVA) a été utilisée afin de comparer la part d'IMM et d'IMG dans l'excès de corpulence ($IMM_{excès}$ et $IMG_{excès}$), entre les différentes catégories d'âge (U11, U13, U15), et entre les groupes (joueurs en surpoids versus obèses). Un test post-hoc de Fisher (LSD) a complété l'ANOVA lorsque l'effet était significatif. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0.05$.

Résultats

La prévalence du surpoids et de l'obésité est similaire chez les U11 et U13. En revanche, celle-ci augmente de manière marquée entre U13 et U15 (surpoids : +14 pts ; obésité : +19.1 pts ; surpoids et obésité : +33.1 pts ; Tableau 1). Indépendamment de l'âge, la contribution d'IMM et d'IMG (%) dans l'excès de corpulence est significativement différente ($p < 0.05$) entre les joueurs en surpoids ($IMM : 47,7 \pm 45,9\%$; $IMG : 52,3 \pm 45,9\%$) et les joueurs obèses ($IMM : 39,5 \pm 29,5\%$; $IMG : 60,5 \pm 29,5\%$). Indépendamment de la sévérité de la corpulence (critère IOTF), la contribution d'IMM (%) dans l'excès d'IMC augmente significativement ($p < 0.05$) entre U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) et U13 ($48,8 \pm 41,5\%$), et entre U11 ($34,1 \pm 39,5\%$) et U15 ($48,7 \pm 37,6\%$). En revanche, la différence n'est pas significative entre U13 et U15. Par conséquent, la contribution d'IMG diminue significativement pour les mêmes périodes (Tableau 1). Le pourcentage de jeunes joueurs en surpoids pour lesquels l'excès de corpulence est lié majoritairement à du tissu maigre augmente régulièrement entre

les catégories d'âge (U11 vs U13 : +7,8pts ; U13 vs U15 : +12,1pts). Chez le jeune obèse, ce pourcentage reste stable entre U11 et U13 et augmente nettement entre U13 et U15 (+ 21,2pts ; Figure 1).

Discussion

Cette étude met en évidence la nécessité d'interpréter avec précaution la prévalence élevée du surpoids et de l'obésité chez le jeune joueur de rugby, établie à partir de l'IMC et des critères de l'IOTF. En effet, en moyenne, 44,3% de l'excès de corpulence sont représentés par la contribution du tissu maigre chez ces jeunes joueurs en surpoids et obèses âgés de 9 à 14 ans. Celle-ci augmente de manière marquée entre les catégories U11 et U13 (surpoids : +14,7 pts ; obésité : +19 pts), et devient majoritaire dans les catégories U13 et U15 chez les joueurs en surpoids comparativement à la contribution du tissu gras. L'imprégnation hormonale au cours de la puberté, favorable à la synthèse de la masse maigre et à la réduction de la masse grasse chez le garçon, permettrait d'expliquer en partie ce résultat [2]. Par ailleurs, être en surpoids ou obèse pourrait contribuer à augmenter la masse maigre pour supporter cet excès pondéral, en particulier pour le jeune joueur de rugby sollicitant régulièrement sa masse corporelle lors des exercices de force et de puissance [1]. De plus, une proportion non négligeable de jeunes joueurs en surpoids et obèses (18%) a un excès de corpulence liée exclusivement à un excès de tissu maigre, et est ainsi considérée à tort en surcharge pondérale. En revanche dans une logique préventive, une attention toute particulière devrait être portée auprès de 21% des jeunes joueurs en surpoids et obèses, dont l'excès de corpulence est exclusivement lié à un excès d'adiposité. Par ailleurs, le degré de sévérité de la surcharge pondérale est un élément à considérer dans l'analyse de la contribution de ces deux tissus dans l'excès de corpulence. La contribution du tissu gras dans l'excès de corpulence est significativement plus élevée chez le jeune joueur obèse que celui en surpoids. Selon Freedman et al. (2005), plus la sévérité de la surcharge pondérale liée à un excès de masse grasse est importante, plus l'IMC est un indicateur fiable d'obésité. Néanmoins, il serait nécessaire d'affiner ces résultats à l'aide d'une méthode à trois compartiments, afin d'appréhender l'évolution de la masse osseuse par rapport à celle du tissu musculaire.

Conclusion

Chez le jeune de rugby, l'utilisation de l'IMC avec pour référence les courbes de corpulence de la population générale française surestime la prévalence du surpoids et de l'obésité. En tenant compte des joueurs dont l'excès de corpulence (>75^{ème} percentile) est lié exclusivement à un excès d'IMM (100%), la surestimation de la prévalence du surpoids et de l'obésité selon les critères IOTF pourrait être considérée de 18,8%, 28,9% et 11,0% respectivement chez les U11, U13 et U15. Cela est lié à une contribution importante de tissu maigre dans l'excès de corpulence chez le jeune joueur de rugby. De surcroît, la faiblesse de l'IMC dans une visée diagnostique tend à s'accroître au fil de la phase pubertaire. Après l'âge de 11 ans, il semble approprié

4

d'abandonner l'utilisation de l'IMC et de préférer une évaluation de ses deux composantes (IMG et IMM), afin d'identifier plus finement l'origine de l'excès de corpulence, ainsi que certains morphotypes atypiques dans une logique prophylactique de performance et de santé.

Les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêts.

Références

- 1 Gavarry O, Lentin G, Pezery P, Delextrat A, Chaumet G, Boussuges A, et al. A Cross-Sectional Study Assessing the Contributions of Body Fat Mass and Fat-Free Mass to Body Mass Index Scores in Male Youth Rugby Players. *Sports Med Open* 2018;4(1):17.
- 2 Freedman DS, Wang J, Maynard LM, Thornton JC, Mei Z, Pierson JR, et al. Relation of BMI to fat and fat-free mass among children and adolescents. *Int J Obes* 2005;29:1-8.
- 3 VanItalie TB, Yang MU, Heymsfield SB, Funk RC, Boileau RA. Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status. *Am J Clin Nutr* 1990;52(6): 953-959.
- 4 Weber DR, Moore RH, Leonard MB, Zemel BS. Fat and lean BMI reference curves in children and adolescents and their utility in identifying excess adiposity compared with BMI and percentage body fat. *Am J Clin Nutr* 2013;98(1):49-56.

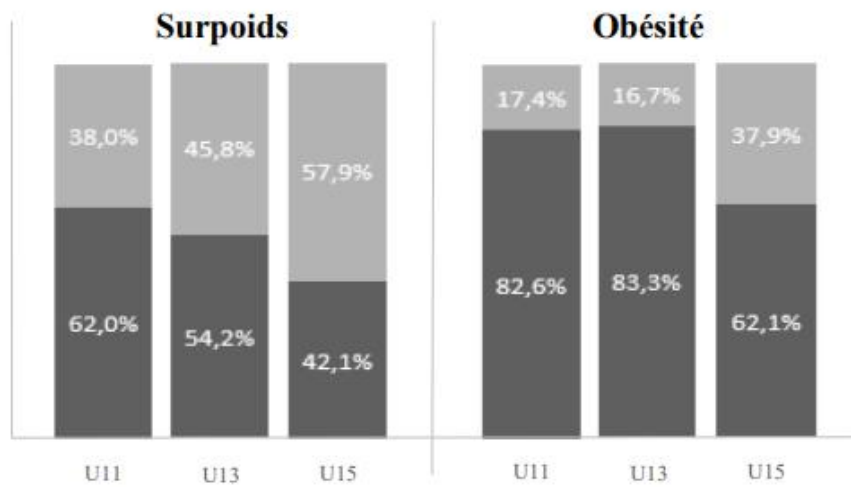


Figure 1. Proportion des joueurs en surpoids et obèses selon les caractéristiques de l'excès de corpulence.

Note : L'excès de corpulence est défini à partir des seuils du 75^{ème} percentile d'IMG et d'IMM.

La caractéristique de l'excès de corpulence est liée à une prédominance de tissu maigre ou de tissus gras (>50%).

Table 1. Prévalence du surpoids et contribution des tissus maigre et gras par catégorie d'âge chez le jeune joueur de rugby.

Critères IOTF	U11			U13			U15		
	Surpoids	Obésité	Surpoids et obésité	Surpoids	Obésité	Surpoids et obésité	Surpoids	Obésité	Surpoids et obésité
Prévalence (%)	23,9	9,7	33,6	30,3	7,3	37,5	45,2	25,7	70,9
IMM_{excès} (%) Moy ± ET	39,5±44,6	22,3±21,2	34,1±39,5	50,6±45,2	41,3±20,6	48,8±41,5	57,9±50,7	45,8±32,2	48,7±37,6
IMG_{excès} (%) Moy ± ET	60,5±44,6	77,7±21,2	65,9±39,5	49,4±45,2	58,7±20,6	51,2±41,5	42,1±50,7	54,2±32,2	51,3±37,6

IOTF: International Obesity Task Force; IMG_{excès}: proportion d'IMG > 75^{ème} percentile ; IMM_{excès}: proportion d'IMM > 75^{ème} percentile ; Moy : moyenne ; ET: Ecart-Type

IMM_{excès} et IMG_{excès} (%): effet principal catégorie d'âge (U11, U13, U15): $p < 0,05$; effet principal critères IOTF

(Obésité, surpoids): $p < 0,05$; Interaction: ns

ANNEXE 3 : Etude 3

**A comparison of an alternative weight-grading model against
chronological age group model for the grouping of schoolboy male
rugby players**

G. Lentin, S. Cumming, J. Piscione, P. Pezery, M. Bouchouicha, J. Gadead, J.J. Raymond, P.
Duché, O. Gavarry

Frontiers physiology



A Comparison of an Alternative Weight-Grading Model Against Chronological Age Group Model for the Grouping of Schoolboy Male Rugby Players

Grégory Lentin^{1*}, Sean Cumming², Julien Piscione³, Patrick Pezery⁴, Moez Bouchouicha⁵, José Gadea⁶, Jean-Jacques Raymond^{1,2}, Pascale Duché¹ and Olivier Gavarry¹

¹ Research Unit "Impact of Physical Activity on Health" (IAPS n° 201723207F), University of Toulon, Toulon, France, ² Department of Health, University of Bath, Bath, United Kingdom, ³ Department of Performance, French Rugby Federation, Marcoussis, France, ⁴ Université de Toulon, Aix-Marseille Univ, CNRS, LIS, Marseille, France, ⁵ Ligue Sud Provence-Alpes Côte d'Azur de Rugby, Le Pradet, France, ⁶ Sport Medicine and Traumatology Unit, CHTS, Toulon, France

OPEN ACCESS

Edited by:

Emilano Cè,
University of Milan, Italy

Reviewed by:

Kevin Till,
Leeds Beckett University,
United Kingdom
Rossana Gomez-Campo,
Catholic University of the Maule, Chile

*Correspondence:

Grégory Lentin
lentini@univ-tln.fr
orcid.org/0000-0002-6762-7380

Specialty section:

This article was submitted to
Exercise Physiology,
a section of the journal
Frontiers in Physiology

Received: 22 February 2021

Accepted: 30 April 2021

Published: 10 June 2021

Citation:

Lentin G, Cumming S, Piscione J, Pezery P, Bouchouicha M, Gadea J, Raymond J-J, Duché P and Gavarry O (2021) A Comparison of an Alternative Weight-Grading Model Against Chronological Age Group Model for the Grouping of Schoolboy Male Rugby Players. *Front. Physiol.* 12:670720. doi: 10.3389/fphys.2021.670720

Objectives: Concerns regarding marked differences in the weights and body composition of young rugby players competing within the same age groups have led to the suggestion of alternative models for grouping young players. The aims of this study were (1) to compare variance in the body size and body composition of schoolboy rugby players (9 to 14 years), across weight- and age-grading models, and (2) to identify morphotypes for the weight model using Hattori's body composition chart.

Materials and Methods: Skinfold thickness measurements were used to assess body fat mass (BF), fat-free mass (FFM), body fat mass index (BFMI), and fat-free mass index (FFMI). Standardized measure of height and weight were taken for all participants. Data were grouped according to the age categories of the French Rugby Federation (U11: Under 11 years, U13: Under 13 years, and U15: Under 15 years), and to the weight categories (W30–44.9; W45–59.9; and W60–79.9) carried out from 25th and 75th weight percentile in each age category. Body mass index status (NW normal-weight versus OW/OB overweight/obese) was considered. Extreme morphotypes are characterized from BFMI and FFMI in the weight-grading model on Hattori's body composition chart.

Results: The dispersion of anthropometric characteristics decreased significantly for the weight model, except for height in all groups and BFMI for U13. Among NW, 3, 1.8, and 0% upgraded; 18.2, 68.7, and 45.5% downgraded; among OW, 50, 21.5, and 12.5%; and among OB, 91.3, 83.3, and 74.6% upgraded, respectively, in U11, U13, U15. FFMI/BFMI were correlated in U11 ($r = 0.80$, $p < 0.001$), U13 ($r = 0.66$, $p < 0.001$), and U15 ($r = 0.77$, $p < 0.001$). There was no significant correlation in W45–59.9 and low correlations in W30–44.9 ($r = 0.25$, $p < 0.001$) and W60–79.9 ($r = 0.29$, $p < 0.001$). Significant grading difference between the centroids ($p < 0.05$) and the distribution deviates from centroids of BFMI and FFMI ($p < 0.0001$) were noted

between the two models. Thirteen players were located in adipo-slender, twenty-three in adipo-solid, twenty-two in lean-slender, and two located in the lean-solid morphotype in weight model.

Conclusion: A weight-grading model should be considered to limit mismatches in anthropometric variables. However, variations of body composition also persisted for this model. Hattori's body composition chart allowed more detailed examination of morphological atypicalities among schoolboy rugby players.

Keywords: health, rugby union, schoolboy, obesity, grading

INTRODUCTION

In the last decades, the evolution of rugby union has moved toward a significant increase in the physical size among the players. The trend toward "heavier and taller" players is observed in adolescent rugby players (Sedeaud et al., 2013). This secular change can be explained by a number of factors, including more extensive and competitive advancements in player identification and selection and greater investment in conditioning techniques and resources for junior players, and secular increases in height and weight among the general youth population during the last decades (Bartkoowiak et al., 2020). In sports such as rugby, young players can focus on the desire to gain weight during growth, especially as muscle mass, to improve strength, power, and speed performance (Carl et al., 2017). Increases in both lean and body mass could, however, enhance the impact forces experienced in the tackle (Pain et al., 2008) and the scrum (Milburn, 1990), potentially resulting in an increase in the incidence and severity of injury.

Rugby union is a collision sport with a high incidence of injury and the highest incidence of time-loss injury compared with other sports among adolescent athletes (Bleakley et al., 2011). The comparatively high risk for injury in rugby may be influenced the many changes and variance in size and function that accompany the pubertal growth spurt (Caine et al., 2014). Boys who mature in advance of their peers benefit from an earlier and often more intense growth spurt, resulting in marked advantages in size, strength, speed, power, and momentum. Maturity associated differences in athleticism emerge from approximately 11 years of age and are maintained through late adolescence, before attenuating in early-to-middle adulthood. Consequently, major differences have been observed in body weight and body composition (Gavarry et al., 2018), maturity (Nutton et al., 2012), and physical qualities of strength and power (McCann et al., 2017; Perroni et al., 2018) between young players in the same age category during puberty.

In rugby union, serious attention is being paid to minimize and control the risk of injury and promote competitive equity in youth categories. Thus, classifying young rugby players by age is a matter of debate in some rugby federations with a growing awareness to evolve the age-grading model (Patton et al., 2016). Further to these concerns, there is an argument that categories based on size rather than age may help address the competitive inequity associated with maturity-associated variance in size and function, and present early and late developing players

more optimal and developmentally appropriate challenges and learning opportunities. Several authors proposed to cross the age-based grading reference with other methods such as the skill-based grading (McCoy et al., 1984), the body mass-based grading used by the New Zealand Rugby Union (World Rugby, 2016), the biological-maturation-based grading (Cumming et al., 2017), or other holistic and hybrid strategies (Tucker et al., 2016). It should be noted that these grouping strategies need not serve as a replacement for age group competition but exist as an additional competitive format that is part of a diversified games programs. Anthropometric characteristics, such as weight, can serve as objective, convenient, and potential dispensation criteria among the youth rugby players (Patton et al., 2016). Although adding a weight restriction is expected to reduce variability, to date, no study has been conducted to propose a weight-grading model. Moreover, knowing that for a given body mass index (BMI) corresponds to different contributions of body fat mass and fat-free mass and that different correlations exist between BMI and indexes of body composition during puberty (Gavarry et al., 2018), there is a need to include body composition and BMI status in the analysis of the weight-grading model. Debating the question of whether rugby should be played according to weight categories in young players, Lambert et al. (2010) has also been suggested that it is unrealistic to categorize only by weight without taking into account body composition parameters.

In light of the preceding discussion, the aim of this study was to compare the anthropometric characteristics of a weight-grading model with the age-grading model, taking into account BMI status and the contribution of body fat mass index (BFMI) and fat-free mass index (FFMI) to the changes in BMI. This study also aimed to identify standardized morphotypes plotted on Hattori's body composition chart (Hattori et al., 1997) across different weight categories. It was hypothesized that the weight-grading model decreases body weight, body fat mass, and fat-free mass variations between young players.

MATERIALS AND METHODS

Participants and Data Collection

One thousand young male rugby union players from a population of 4,442 aged 9 to 14 years from Provence-Côte d'Azur rugby county (France) were included in a cross-sectional study. From these children, 738 volunteered have to be integrated into this

study and all the players were attached to clubs. This study was conducted between September 2012 and May 2013. Informed consent was obtained from child and parent or legal guardian before each child's participation. The study was approved by the Ethics Committee of the University of Toulon and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

Determination of BMI

Height was measured using a portable stadiometer (Leicester high measure; Tanita, UK). Body mass was measured using an electronic weighing scale (SECA 920, class 3, Germany). Both were measured, respectively, to the nearest 0.1 cm and 0.1 kg. The participants were dressed lightly without shoes. Then, BMI was calculated as body mass (kg) divided by height squared (m^2).

Evaluation of Body Composition

Body composition was assessed by the skinfold thickness method at selected four sites (biceps, triceps, subscapular, and suprailliac) with a Harpenden skinfold caliper (Baty International, England). All skinfolds were measured by the same researcher to eliminate inter-tester variability. The test-retest intraclass coefficients on a random sample of 50 subjects in each age category were greater than 0.99. Three successive measurements of each site were taken. If these three values varied by more than 0.2 mm, two additional measurements were taken. The mean of skinfold measurements at each site was used for statistical analysis. The protocol for precise skinfold location and measurement was carefully followed, according to the standardized procedures and guidelines described by Lohman (1992). According to the equations of Durnin and Rahaman (1967), percent body fat and fat-free mass were determined: body density (BD) = $1.1533 - 0.0643 \times \log \text{sum of 4 skinfolds (triceps, biceps, subscapular, suprailliac)}$, $\%BF = (4.95/BD - 4.5) \times 100$. The Durnin and Rahaman equation has been validated against the DXA method in adolescent athletes aged of 15 years (Fonseca-Junior et al., 2017). Fat mass and fat-free mass were then expressed in kilograms to calculate BFMI ($kg\ m^{-2}$) and FFMI ($kg\ m^{-2}$) making it possible to adjust body composition to height (VanItallie et al., 1990), $BMI (kg\ m^{-2}) = BFMI (kg\ m^{-2}) + FFMI (kg\ m^{-2})$.

Classification of Overweight and Obesity

The prevalence of overweight and obesity was determined using the IOTF (International Obesity Task Force) criteria (Cole et al., 2000). These criteria have been used in a previous study (Gavarry et al., 2018) to classify young players as normal-weight (NW) and overweight/obese players (OW/OB), across age categories.

Age-Based Grading

The young rugby players had been graded according to age categories (Uage) set by the French Rugby Federation (FRF) which was in force until 2014: Under 11 years (U11: 9.8 ± 0.7 years, $n = 246$), Under 13 years (U13: 11.6 ± 0.8 years, $n = 260$), and Under 15 years (U15: 14.0 ± 0.6 years, $n = 230$). Age was recorded as a decimal value for each child using their date of birth and the date of testing.

Body Mass-Based Grading

The young rugby players had been graded according to the weight categories ($Wx-y$) set by the cut-off limit for the 25th and 75th percentiles: U11 (25th: 32.4 kg and 75th: 44.1 kg), U13 (25th: 39.7 kg and 75th: 54.9 kg), and U15 (25th: 61.0 kg and 75th: 79.9 kg). These cut-offs were harmonized to have a continuity without overlap of weight: W30–44.9 (from 30 to 44.9 kg, 10.4 ± 1.1 years, $n = 268$), W45–59.9 (from 45 to 59.9 kg, 11.7 ± 1.5 years, $n = 194$), and W60–79.9 (from 60 to 79.9 kg, 13.6 ± 1.2 years, $n = 167$).

Time of Practice of Sport

The time spent in practicing sport (school physical activity and rugby training) have been evaluated using a survey during the competitive season: school physical activity (U11: 3.0 ± 0.0 , W30–44.9: 3.5 ± 0.5 , U13: 4.0 ± 0.0 , W45–59.9: 3.7 ± 0.6 , U15: 2.9 ± 1.0 , and W60–79.9: 3.0 ± 1.0 hours/week) and rugby training (U11: 3.8 ± 0.4 , W30–44.9: 3.9 ± 0.5 , U13: 4.1 ± 0.6 , W45–59.9: 4.3 ± 0.8 , U15: 5.2 ± 1.2 , and W60–79.9: 4.9 ± 1.2 hours/week).

Body Composition Chart

To graphically present in two-dimensional chart the different body composition aspects such as FFMI, BFMI, percent body fat mass, and BMI of each grading models in youth rugby union players, Hattori's (1997) model has been used. FFMI, BFMI, percent body fat mass, and BMI were included in different axis in the same chart, with percent body fat mass = $BFMI/(BFMI + FFMI)$.

Morphotype Subgroups

From Hattori's body composition chart, the FFMI and the BFMI were classified into three subgroups, respectively. More precisely, groups located below the mean - 1 SD, between the means \pm 1 SD, and above the mean + 1 SD were, respectively, characterized as slender, intermediate, and solid for the FFMI, and lean, intermediate, and adipose for the BFMI.

Scatter Diagram Comparisons From the Two Grading Models

The scatter diagrams of the BFMI and FFMI for both grading models were circumscribed in bivariate normal ellipses ($p = 0.95$) to clarify patterns of diversification of each index estimated relative to that of the other. These and their centroids were modeled using GNU Octave 5.2. The design of the scatter diagram points and centroids were, respectively, open circles and filled circles for the age-based grading and cross for weight-based grading. Bivariate normal ellipses are shown separately for each corresponding grading: U11 vs. W30–44.9, U13 vs. W45–59.9, and U15 vs. W60–79.9.

Statistical Analysis

The statistical analysis was performed using Statistica 6.1 (Statsoft, 1984–2003). Parameters studied had a normal distribution as assessed by the Kolmogorov-Smirnov test. The variability of anthropometric characteristics in each group was

analyzed by the coefficient variation (CV) = SD/mean × 100. An approximate F test was used to compare CV. A one-way ANOVA was used to compare the values of anthropometric characteristics between groups (U11 vs. W30–44.9, U13 vs. W45–59.9, and U15 vs. W60–79.9). Post hoc comparisons were made using Fisher's LSD test. The magnitude of effects (i.e., effect size) was calculated using Cohen's *d*: small (*d* = 0.2), medium (*d* = 0.5), and large (*d* > 0.8). The statistical analysis of bivariate normal ellipses and centroids was performed using XLSTAT 2020.2.2 (by Addinsoft). The lambda of Wilks procedure was used to compare the difference between the centroids of the two grading model groups from the coordinates of the arithmetic means of BFMI and FFMI. The box procedure was used to compare the difference between the distribution deviates from centroids of BFMI and FFMI. Statistical significance was set at *p* < 0.05.

RESULTS

Comparison Between the Age-Based Grading and the Weight-Based Grading Models

The comparison of anthropometric characteristics between the age-grading model and the weight-grading model are presented

in **Table 1**. Due to the cut-off limit for the 25th and 75th percentiles, some players were excluded (under W30–44.9: *n* = 34; above W60–79.9: *n* = 64) in the body mass–based grading model.

U11 vs. W30–44.9. No significant difference was observed for the mean values for weight and FFMI. However, the mean value for height (+2.1 cm/+1.5%, *p* < 0.01, *d* = 0.29) was significantly greater in W30–44.9 than in U11, and conversely the mean values for BMI (−1 kg m^{−2}/−5.2%, *p* < 0.001, *d* = −0.37) and BFMI (−0.8 kg m^{−2}/−18.2%, *p* < 0.001, *d* = −0.40) were significantly lower. When compared with age groups, the weight-graded strategy resulted in a significant reduction (*p* < 0.001) in the coefficients of variance for weight, BMI, BFMI, and FFMI, but not height (*p* = 0.21). The magnitude of the statistically significant reductions in variance ranged from small to moderate (percentage reduction: weight = 54.4%, BMI = 41.4%, BFMI = 38.2%, FFMI = 18.8%).

U13 vs. W45–59.9. Mean values for weight (+4.0 kg/+8.4%, *p* < 0.001, *d* = 0.42), height (+1.7 cm/+1.1%, *p* < 0.05, *d* = 0.19), BMI (+1.6 kg m^{−2}/+7.9%, *p* < 0.001, *d* = 0.51), BFMI (+1.0 kg m^{−2}/+21.3%, *p* < 0.001, *d* = 0.48), and FFMI (+0.5 kg m^{−2}/+3.2%, *p* < 0.001, *d* = 0.31) were significantly higher in W45–59.9 than in U13. In comparison with age groups, the weight-graded strategy resulted in a significant reduction (*p* < 0.01) in the coefficients of variation for weight, BMI,

TABLE 1 | Comparison of the anthropometric characteristics between the age-based grading and the body mass–based grading models.

	U11 (<i>n</i> = 240)	W30–44.9 (<i>n</i> = 260)	U13 (<i>n</i> = 200)	W45–59.9 (<i>n</i> = 194)	U15 (<i>n</i> = 200)	W60–79.9 (<i>n</i> = 167)
Weight (kg)						
X ± SD	39.0 ± 9.2	37.5 ± 4.0	47.8 ± 11.6	51.8 ± 4.4***	71.8 ± 14.0	67.8 ± 5.6***
Median	37.1	37.5	46.1	51.2	69.3	67.0
Range	[22.7; 87.2]	[30.2; 45.0]	[27.6; 99.4]	[45.0; 50.9]	[43.0; 127.3]	[60.1; 80]
CV (%)	23.7	10.8***	24.3	8.6***	19.5	8.2**
Height (cm)						
X ± SD	141.4 ± 7.4	143.5 ± 6.8**	152.6 ± 9.2	154.3 ± 8.1*	168.7 ± 7.8	167.2 ± 8.1
Median	141.0	143.0	152.5	154.4	169.0	168.0
Range	[122.4; 162.0]	[126.4; 163.5]	[133.0; 186.0]	[134.5; 176.0]	[147.0; 190.0]	[138.6; 190.0]
CV (%)	5.2	4.8	6.0	5.3	4.6	4.9
BMI (kg/m²)						
X ± SD	19.3 ± 3.3	18.3 ± 1.8***	20.3 ± 3.4	21.9 ± 2.5***	25.2 ± 4.2	24.3 ± 2.5**
Median	18.5	18.0	19.9	21.6	18.0	24.4
Range	[14.2; 34.5]	[14.4; 26.5]	[12.8; 34.0]	[16.0; 34.5]	[14.4; 42.0]	[19.0; 31.6]
CV (%)	16.9	9.9***	16.7	11.3***	16.6	10.4**
BFMI (kg/m²)						
X ± SD	4.4 ± 2.5	3.6 ± 1.3***	4.7 ± 1.9	5.7 ± 2.1***	6.7 ± 2.4	6.3 ± 1.8
Median	3.5	3.3	4.3	5.3	6.5	6.3
Range	[1.0; 16.8]	[1.3; 9.2]	[1.6; 12.2]	[2.2; 16.8]	[1.8; 15.4]	[3.1; 12.1]
CV (%)	57.8	35.7***	40.9	37.4	36.2	28.7**
FFMI (kg/m²)						
X ± SD	14.9 ± 1.3	14.6 ± 1.0	15.6 ± 1.8	16.1 ± 1.3***	18.5 ± 2.0	17.9 ± 1.3**
Median	14.7	14.5	15.3	16.0	18.1	17.9
Range	[9.9; 19.2]	[9.9; 18.5]	[11.2; 24.4]	[13.5; 24.4]	[12.6; 26.6]	[14.8; 22.3]
CV (%)	8.5	6.9***	11.5	8.1***	10.8	7.3**

Data presented as mean ± SD. One-way ANOVA for weight (*p* < 0.001, η^2_p : 0.67), height (*p* < 0.001, η^2_p : 0.63), BMI (*p* < 0.001, η^2_p : 0.40), BFMI (*p* < 0.001, η^2_p : 0.22), and FFMI (*p* < 0.001, η^2_p : 0.48). Significant differences from previous age model (post hoc comparison Fisher's LSD): **p* < 0.05, ***p* < 0.01, ****p* < 0.001. BFMI, body fat mass index; CV, coefficient of variation; FFMI, fat-free mass index; X ± SD, mean ± standard deviation.

TABLE 2 | Distribution of age-based grading into weight-based grading.

	U11		U13		U15	
	n	%	n	%	n	%
W30-44.9	101	60	100	39.6	1	0.4
W45-59.9	47	24.2	108	86.7	39	20.1
W60-79.9	7	4.2	30	18	130	77.8

and FFMI, but not height ($p = 0.07$) and BFMI ($p = 0.25$). The magnitude of the statistically significant reductions in variance ranged from small to moderate (percentage reduction: weight = 64.6%, BMI = 32.3%, FFMI = 29.6%).

U15 vs. W60-79.9. No significant differences were found between the mean values for height and BFMI. However, the mean values for weight (-4.0 kg/ -5.6% , $p < 0.001$, $d = -0.35$), BMI (-0.9 kg m $^{-2}$ / -3.6% , $p < 0.01$, $d = -0.25$), FFMI (-0.6 kg m $^{-2}$ / -3.2% , $p < 0.01$, $d = -0.34$) were significantly higher in W60-79.9 than in U15. In comparison with age groups, the weight-graded strategy resulted in a significant reduction ($p < 0.01$) in the coefficients of variance for weight, BMI, BFMI, and FFMI, but not height ($p = 0.38$). The magnitude of the statistically significant reductions in variance ranged from small to moderate (percentage reduction: weight = 57.9%, BMI = 37.3%, BFMI = 20.7%, FFMI = 32.4%).

Down- and Upgraded Players From Age Category to Weight Category

Table 2 shows the percentage of young rugby players who moved from age category to weight category. The downgraded U11 and the upgraded U15 players have not been taken into account. Thus, after weight grading, 60% of U11, 55.7% of U13, and 77.8% of U15 remained in the weight category which corresponds to their age group. However, 39.6% of U13 and very few U15 (0.4%) downgraded in W30-44.9, and 20.1% of U15 downgraded in W45-59.9. Also, 24.2% of U11 upgraded in W45-59.9, and 4.2% of U11 and 18% of U13 upgraded in W60-79.9.

The change of category from age grading to weight grading (up- and downgrading) depending on BMI status is presented in Figure 1. In normal-weight players, 18.2% of U11 and 6.7% of U13 were downgraded to under W30-44.9. Moreover, 62% of U13 were downgraded to W30-44.9. On the contrary, only 1.5% of U15 were downgraded to W30-44.9 and 43.9% of them were downgraded to W45-59.9. A very low percentage of U11 (3%) and U13 (1.8%) were upgraded to W45-59.9 and W60-79.9, respectively. In overweight players, a low percentage of U13 (6.3%) and U15 (11.5%) were downgraded to W30-44.9 and W45-59.9, respectively. Half of U11 and 21.5% of U13 were upgraded to W45-59.9 and W60-79.9, respectively. Also, 12.5% of U15 were upgraded to more than W60-79.9. In players categorized as obese, 30.4% of U11 and 55.6% of U13 were upgraded to W60-79.9. Moreover, 4.3% of U11, 27.8% of U13, and 74.6% of U15 were upgraded to more than W60-79.9. Figure 2 shows the comparison of scatter plot of BFMI and FFMI between age grading and weight grading. Although the ellipses are overlapped, their shapes are specific for the type of

grading. A flattening of ellipses was observed in each weight category resulting in a decrease of relationships between BFMI and FFMI. More precisely, FFMI was moderately or strongly associated with BFMI in the age model (U11: $r = 0.80$, $p < 0.001$; U13: $r = 0.66$, $p < 0.001$; U15: $r = 0.77$, $p < 0.001$). In contrast, there was no significant correlation between BFMI and FFMI in W45-59.9, and associations between these constructs were weak in W30-44.9 ($r = 0.25$, $p < 0.001$) and W60-79.9 ($r = 0.29$, $p < 0.001$). Lambda of Wilks procedure indicated a significant grading difference between the centroids (Table 1) of BFMI and FFMI (U11 vs. W30-44.9: $p < 0.0001$, $F = 9.13$, $\lambda = 0.97$; U13 vs. W45-59.9: $p < 0.0001$, $F = 14.26$, $\lambda = 0.94$; U15 vs. W60-79.9: $p < 0.02$, $F = 3.94$, $\lambda = 0.98$). Box procedure also indicated a significant grading difference between the distribution deviates from centroids of BFMI and FFMI (U11 vs. W30-44.9: $p < 0.0001$, $F = 36.86$, $M = 111.05$; U13 vs. W45-59.9: $p < 0.0001$, $F = 32.43$, $M = 97.76$; U15 vs. W60-79.9: $p < 0.0001$, $F = 19.32$, $M = 58.28$).

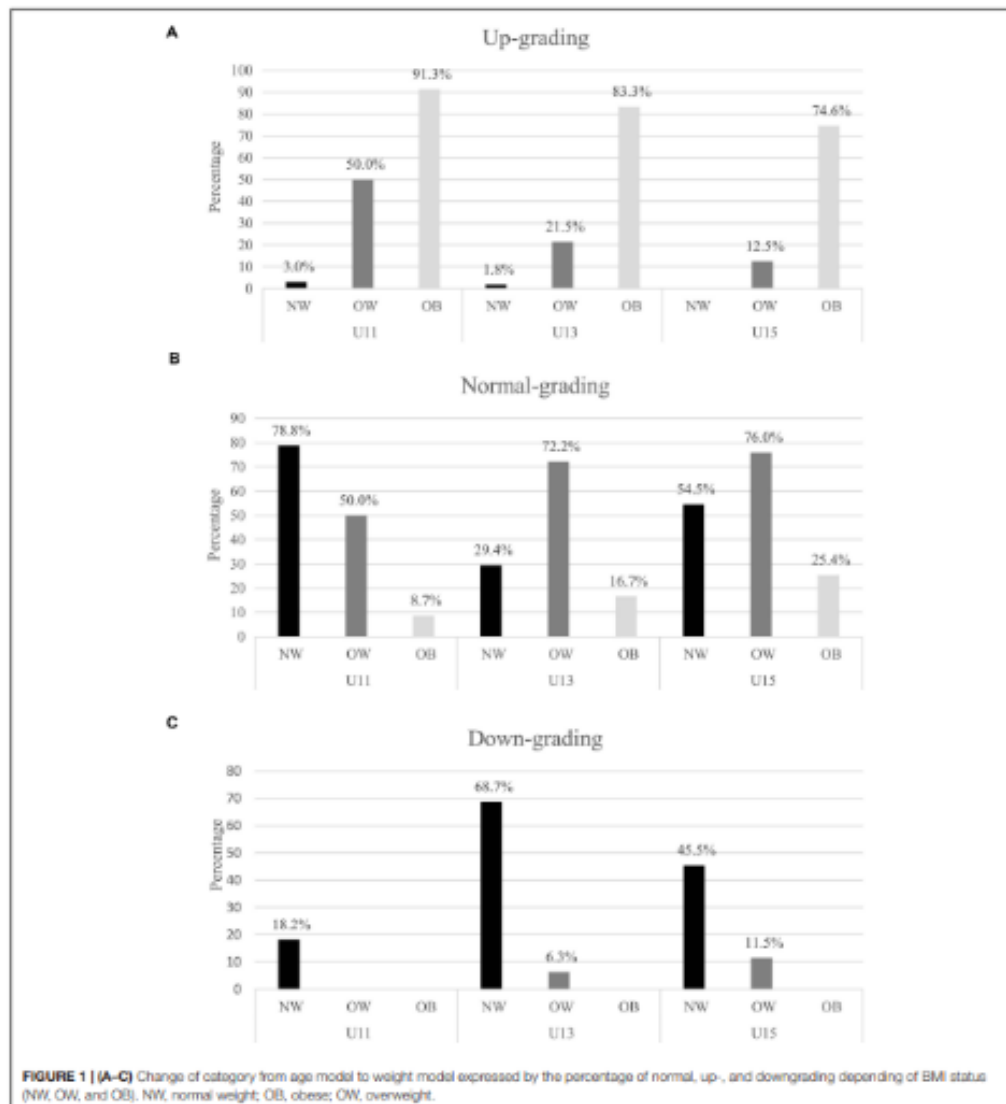
Morphotype Subgroups From Hattori's Body Composition Chart in the Weight-Grading Model

Figure 3 shows the different morphotype subgroups from the body composition classification in the weight-grading model. For FFMI, slender players were located below of 13.6, 14.9, and 16.6 kg m $^{-2}$; intermediate players between 13.6, 14.9, and 16.6 kg m $^{-2}$ and 15.7, 17.5, and 19.3 kg m $^{-2}$; and solid players above 15.7, 17.5, and 19.3 kg m $^{-2}$ in W30-44.9, W45-59.9, and W60-79.9, respectively. For BFMI, lean players were located below 2.3, 3.6, and 4.5 kg m $^{-2}$; intermediate players between 2.3, 3.6, 4.5 kg m $^{-2}$ and 4.9, 7.8, 8.1 kg m $^{-2}$; and adipose players above 4.9, 7.8, and 8.1 kg m $^{-2}$ in W30-44.9, W45-59.9, and W60-79.9, respectively.

Four W30-44.9 (three U11 and one U13), six W45-59.9 (six U11), and three W60-79.9 (two U11 and one U13) had an adipo-slender morphotype. Fourteen W30-44.9 (ten U11 and four U13), four W45-59.9 (two U11, one U13, and one U15), and five W60-79.9 (one U13 and four U15) had an adipo-solid morphotype. Five W30-44.9 (four U11 and one U15), five W45-59.9 (one U11, three U13, and one U15), and twelve W60-79.9 (one U13 and eleven U15) players had the lean-slender morphotype. Two W30-44.9 (two U11), one W45-59.9 (U13), and one W60-79.9 (U15) had the lean-solid morphotype.

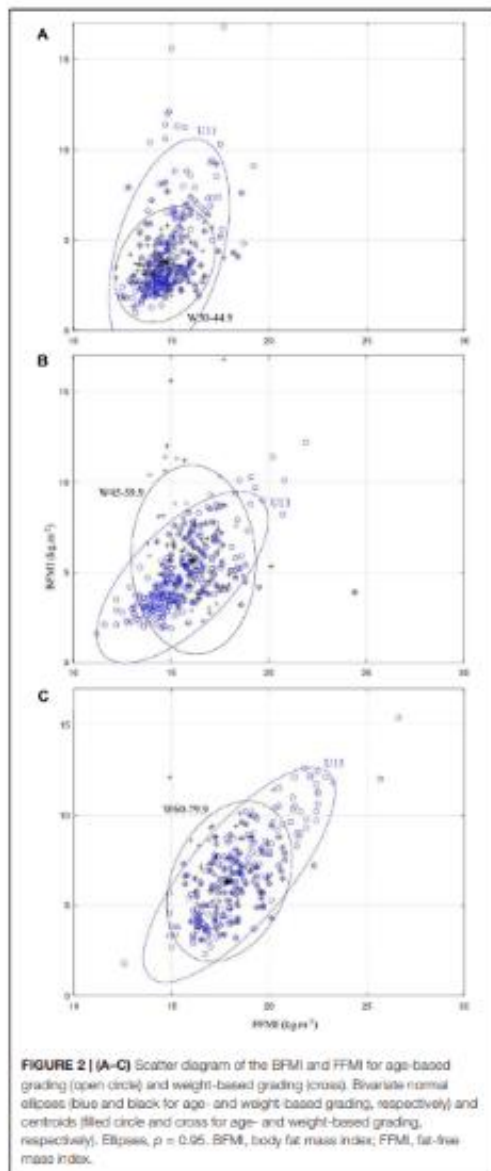
DISCUSSION

This investigation examined variance in the body size and composition of schoolboy rugby (15-a-side rugby) players across the age- and weight-grading grouping models. A number of statistically significant differences in the mean values for body size and compositions were observed between the weight-based and respective age groups. The magnitudes of these differences were, however, comparatively small, suggesting limited impact of the weight grading on the central tendencies for body size and/or composition. Differences were observed, however, in the degrees of variance for body size and composition across the age

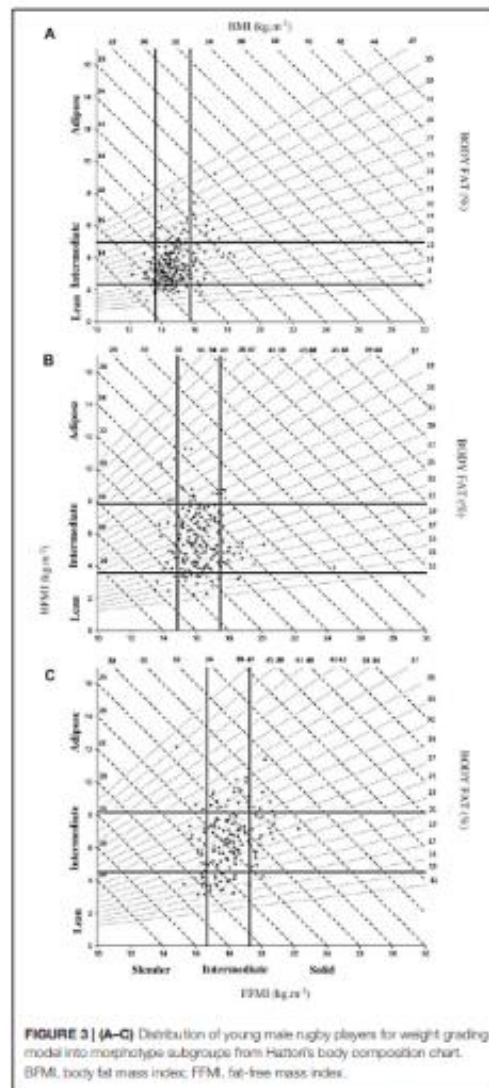


group and weight-graded groups, with the exception of height. As expected, the weight-graded strategy consistently reduced variance in weight, BMI, and BFMI. Accordingly, the weight-grading strategy appears effective in terms of limiting mismatches in these variables among schoolboy rugby players. The results of the bivariate normal ellipses indicated a decrease of the dispersion of FFMI/BFMI between young players after grading by weight.

Moreover, around 56% to 78% of young players are in a weight category that would correspond to their age category, which means that the identity of the category has been in part preserved. However, atypicalities remained (10%), especially concerning extreme morphotypes (adipo-slender, adipo-solid, lean-slender, lean-solid), and have been pointed out in the weight model. The originality of our study lies in the methods chosen to group



young rugby players from percentiles scores of weight and in the identification of two-dimensional and standardized morphotypes plotted on Hattori's body composition chart.



The introduction of weight categories in young rugby players, particularly during puberty, has received particular attention from some rugby union federations like Australia, New Zealand, or independent schools (Patton et al., 2016). A particular concern with respect to age groups is that marked disparities in body size within the age category model may result in an increased risk for injury among smaller and/or later maturing players

(Tucker et al., 2016). Although there is currently no evidence to suggest that smaller or later maturing players are at greater risk for injury, there is limited evidence to suggest that this is not the case. Although one study has indicated that larger players were more susceptible to injury incidence (Archbold et al., 2017), this observation may result from larger players dominating gameplay and, thus, having greater exposure for injury. Smaller or later maturing players could participate less actively in contact events.

Another concern pertaining to size disparities in junior rugby is competitive equity. By nature of the superior size, larger and/or more physically mature players are more likely to succeed and be represented on select junior rugby programs (Howard et al., 2016). Although greater size may afford an initial advantage, it may detrimentally impact the long-term development of these players if they rely on their physical advantages at the expense of their technical, tactical, and psychological development (McIntosh et al., 2003). A selection bias toward larger and/or more physically mature players may also result in the deselection and/or loss of many talented smaller and/or later maturing players (Patton et al., 2016). It should be noted that size is only one predictor of performance and selection in junior rugby and that individual differences in biological maturation may also contribute to performance and selection biases. Indeed, research in judo suggests that maturation serves as a stronger predictor of upper body strength than both size and experience in junior athletes (Detanico et al., 2020).

The Weight Consideration Guideline produced by World Rugby (2016) identifies age groups as the most efficient strategy for matching players on the basis of cognitive, psychosocial, and physical development. From a pragmatic perspective, it can also be argued that age group systems are the easiest to implement and regulate. That said, World Rugby do not exclude the consideration of the weight-grading model. The age-group model is currently used by all nations and classification generally involves a single (England or Australia) or 2-year age band, as in France. The consideration of the weight-grading model is particularly relevant in France due to the application of bi-annual age groups. In most nations, regulations exist to permit the combination of players of different age for the purposes of training and/or playing up or down and age group. In the present study, based on a classification integrating bi-annual age groups, marked differences were observed between the heaviest and lightest players within the same age category (U11: 64.5; U13: 71.8; U15: 84.3 kg). Similarly, but at the same age (15 years), Nutton et al. (2012) observed a large weight variation in Scottish schoolboy rugby players (weight range: 46–127.1 kg). This makes it clear that annual-age grading does not reduce weight variability. These large differences raise the obvious question whether the weight-grading model would allow to reduce this large disparity between young players. According to our data, mean weight differed significantly between U13 versus W45–59.9 and U15 versus W60–79.9. However, coefficient of variation for this variable was significantly lower in the weight model compared with the age model (from –11.3 to –15.7 points) suggesting a reduction of dispersion in the weight model. In addition, we observed a very high reduction of the range of weight between the two models (from –49.7 to –64.9 kg). In line with

this discussion, it is reasonable to suggest that smaller players should perceive a lower apprehension and a greater motivation to engage in physical contacts in the weight model because of the facilitation of playing with similar-sized players. This could lead to an improvement of tackle and ruck technical proficiency.

Various methods of dispensation involving body-mass criteria are proposed depending on statistical criteria such as percentile, SD, and/or the reference population (Patton et al., 2016). In the present study, we used cut-off limit of the 25th and 75th percentiles as a criterion for changing category, as the Sydney Junior Rugby method, 2011. Unlike this latter method, our analysis was based on our study population of schoolboy rugby players, more relevant in our opinion than the general population with the aim of dispensation. In fact, Sydney Junior Rugby method may underestimate anthropometric characteristics of the young rugby players' population compared with a normative population (Krause et al., 2015). In this context, Patton et al. (2016) suggested to measure body mass of young rugby players upon pre-season registration to establish updated data between seasons. This allows to overcome morphological changes that occurred over time in this population (Sedeaud et al., 2014). Thus, our weight-grading method proposed a dispensation inside a group belonging to a minimum and maximum weight value under and above which the young players could receive a down- or upgrading, respectively. Interestingly, the mean of chronological age for weight groups was similar to that of age groups (W30–44.9 vs. U11: +0.6; W45–59.9 vs. U13: +0.1; W60–79.9 vs. U15: –0.4 years) but with greater SD. In addition, we can consider that a large number of U11 and U15 were in a weight category that would correspond to their age category. This finding indicated that the age category in terms of weight has been preserved for these young players with the weight model. However, this was not true for U13 for which about 40% of them were downgraded in the W30–44.9 category (Table 2) with a majority of normal-weight players (around 95%). In the present study, upgraded players were mainly obese players independent of age category. This is linked to the fact that majority of obese rugby players (from 66 to 100%) were in the highest tertiles for BFMI and FFMI in the age model. In addition, a dependence between BFMI and FFMI has been pointed out for the age model as shown by moderate and strong correlations between these two components. This means that the difference in BMI was due to fat mass and fat-free mass particularly in U13 and U15 (Gavarry et al., 2018). In contrast, there was no relationship between BFMI and FFMI in each weight category. Although many authors reported an important prevalence of obesity in the young rugby player population, we have observed in the present study a decrease of the contribution of BFMI in the excess BMI. Considering the 75th percentile as the threshold of excess BMI in our study, we found that 78% of excess BMI were explained by fat mass among obese U11. Similar results (75%) have been reported among obese children (Webster et al., 1984; Wells et al., 2006). Lower values were found among the obese U13 (59%) and U15 (54%). Thus, FFMI plays an increasingly important role in the contribution of excess BMI in these obese players with increasing age underlying the need to measure body composition from 11 to 12 years. In line with this result, Krause et al. (2015) showed that

the dogma of bigger, faster, and powerful characteristics occur simultaneously in adolescent rugby players was not obvious, and only used body mass criteria for grading would be insufficient.

Our weight category model presents several advantages. First, our results pointed out a decrease of the dispersion in most of anthropometric characteristics for the weight-grading model compared with the age-grading model. The bivariate normal ellipses showed graphically a decrease of dispersion in each weight category (Figure 2). It was characterized by significant differences in centroids and shapes of the ellipses which means that body composition of young rugby players was different in the weight-grading model. It was further supported by a reduction of coefficients of variation for BFMI and FFMI. Second, young players of different age categories were mixed, and consequently taking into account the level of growth by weight and height. It is well known that the rates of growth varied considerably among children between the ages of 12 and 15, and late maturers can start puberty around the age of 13 or 14 years. It is highly likely that these young players were late maturing boys (means weight: 39.2 kg and height: 147.6 cm) and they could receive less attention by coaches to be selected in elite teams with the age-grading model (Armstrong and Welsman, 2005). In contrast, the use of the weight-grading model could help avoid the influence of biological and physical factors in this context. Lastly, knowing that more than half of young American football players classified in advanced maturity were obese in the study of Malina et al. (2007), it could be reasonable to think that obese players of a young age category will find themselves with players with similar maturation level in a high weight category. However, although the dispersion decreased, there are still important differences between the highest and the lowest BFMI (7.9, 14.6, and 9.0 kg m⁻²) and FFMI (8.6, 10.9, and 7.5 kg m⁻²) in the same weight category. Expressed in absolute value, these differences represent 15.2, 22.2, and 28.2 kg for body fat mass and 16.9, 26.7, and 29.7 kg for fat-free mass.

Although a weight-grading strategy may limit variance in size among players, limitations of the weight-grading model should be considered. As has been pointed out in this study, it is necessary to include an evaluation of body composition due to different combinations of body fat mass and fat-free mass for a same weight. In addition, obese players with excess body fat upgraded in a weight category of non-obese older players with similar weight or BMI, but with higher muscle mass and therefore with more powerful and strength. Thus, large variability in body composition can persist. Moreover, category changes can lead to a decrease in self-esteem. The weight model requires to have enough young players to make a team and to organize rugby tournaments according to the weight categories. Psychological, cognitive, and skill development representing important factors of performance were not taken into account in this model and should be also considered (Lambert et al., 2010). As in many weight-category sports, young players could use dangerous nutritional and doping strategies to change weight and body composition. An important imbalance between energy expenditure and energy intake could cause the loss of muscle mass in growing players and weak bones particularly in skeletally immature players, affecting negatively

athletic performance and health (Carl et al., 2017). Lastly, maintaining "the spirit of the game" with promotes different body size for the various playing positions is essential. The weight-grading model moves away from this.

Knowing the limits of the weight-grading model, some authors suggested to add anthropometric measures in order to provide objective grading criteria (Lambert et al., 2010; Till et al., 2011; Patton et al., 2016). Thus, there is a need to find a model which could take into account body composition status. In the present study, the use of the two components of BMI (BFMI and FFMI) in the same chart makes it possible to assess whether BMI differences between weight categories are linked to the variations of fat mass or fat-free mass. Although maturation level has not been determined in our population, the use of height normalized for body fat mass and fat-free mass allowed to consider a number of attributes associated with variance in maturation (Wells, 2001). We proposed to use Hattori's body composition chart including BFMI, FFMI, BMI, and %FM. Several authors promoted BFMI rather than BMI to assess the childhood obesity due to higher sensibility (Schutz et al., 2002; Okoroodu et al., 2010). In the present study, Hattori's body composition chart pointed out the low ability of BMI to successfully screen body composition of children which corroborates the low sensibility of BMI to detect excess adiposity among the children and adolescents (Javed et al., 2015). According to Freedman et al. (2005), the accuracy of BMI to assess the adiposity varied regarding the level of fitness and the variability of BFMI was two times greater than FFMI. In our study, a great variability of fat mass was observed. For instance, in obese players in U11 with a BMI between 26 and 28 kg m⁻², fat mass varied from 29 to 45%. In normal players in W30–44.9 with a BMI between 18 and 22 kg m⁻², fat mass varied from 12 to 29%. Similar observations were observed for each of the age or weight categories. Hattori's body composition chart reflects the relevant utility to detect a minority of young players with atypical statures. Indeed, this chart allows to distinguish different morphotype subgroups from body composition classifications (thresholds: $X \pm 1SD$) as proposed by several authors (Hattori et al., 1997; Schutz et al., 2002). In the present study, we used the Hattori model terminology to characterize morphotype subgroups. The extreme statures (adipo-slender, adipo-solid, lean-slender, and lean-solid) were accurately identified in Figure 3 and represent 9.3%, 8.2%, and 12.6% in W30–44.9, W45–59.9, and W60–79.9, respectively.

This body composition chart model proposed in the current study has several practical applications. First, an interesting follow-up to this study would be to look at the risk of injury during physical collision depending on morphotypes and body composition of young rugby union players. Another perspective would be to use our model to facilitate a better identification of the overweight among young players. In this way, the contribution of body fat mass and fat-free mass to changes in body composition could be distinguished across age categories in young rugby players classified as obese, overweight, and normal weight by BMI. Moreover, it would be interesting to identify young players with low muscle mass. So, nutritional recommendations, training strategies, and specialization in playing position should be proposed

according to the body composition criteria for a prophylactic or performance improvement. That is why regularly monitoring body composition from Hattori's body composition chart could facilitate the determination of a low muscle mass with or without excess fat mass (Schutz et al., 2002). Many authors have suggested that during the adolescence, different types and regular exercises like jumping activity increased fat-free mass and decreased fat mass (Weeks and Beck, 2012). Finally, there is a need to elaborate reference values and to establish specific cut-off values of FFMI and BFMI from a health and safety perspective of young rugby players. Early prevention of the potential risk for developing cardiovascular disease or to diagnose the predisposition of adolescents to obesity in adulthood through the BFMI and FFMI has to be encouraged.

In conclusion, this study has shown that the weight-grading model allowed to reduce the dispersion of FFMI/BFMI between young players while preserving the identity of age category. The effect of weight grading on player distribution is highly dependent on the method and statistical tools used to create the weight categories. Despite the classification by weight, there was still a lot of variation in body composition. Furthermore, the fact that upgraded players were mainly obese players and that much of excess BMI were explained by fat mass in younger players contributed to maintain body composition mismatches between players in the same weight category. There is a need to include the evaluation of body composition using BFMI and FFMI chart analysis to identify morphotypes and atypicalities and to design individual intervention for fat loss or muscle gain. Further research is needed to improve the weight-grading model taking into account psycho-social dimensions and maturity status.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

REFERENCES

- Archbold, H. A., Rankin, A. T., Webb, M., Nicholas, R., Eames, N. W., Wilson, R. K., et al. (2017). RUSUS study: Rugby Injury Surveillance in Ulster Schools. *Br. J. Sports Med.* 51, 600–606. doi: 10.1136/bjsports-2015-095491
- Armstrong, N., and Weltsman, J. (2005). 'Essay: Physiology of the child athlete'. *Lancet* 366, 544–545. doi: 10.1016/S0140-6736(05)67845-2
- Bartkowiak, S., Komaraki, J. M., Strzelczyk, R., Janowski, J., and Malina, R. M. (2020). Secular change in height and weight of rural school children and youth in south-central Poland: 1988 to 2016. *Act. J. Hum. Biol.* 13, e23461. doi: 10.1002/ajhb.23461
- Bleakley, C., Tully, M., and O'Connor, S. (2011). 'Epidemiology of Adolescent Rugby Injuries: A Systematic Review'. *J. Athl. Train.* 46, 555–565. doi: 10.4085/1082-6050-46.5.555
- Caine, D., Percell, L., and Maffioli, N. (2014). 'The child and adolescent athlete: a review of three potentially serious injuries'. *BMC Sports Sc. Med. Rehabil.* 6:22. doi: 10.1186/2052-1847-6-22
- Carl, R. L., Johnson, M. D., Martin, T. J., and Council On Sports Medicine And Fitness. (2017). Promotion of Healthy Weight-Control Practices in Young Athletes. *Pediatrics* 140, e20171871. doi: 10.1542/peds.2017-1871
- Cole, T. J., Bellizzi, M. C., Flegal, K. M., and Diets, W. H. (2000). 'Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey'. *BMJ* 320, 1–6. doi: 10.1136/bmj.320.7244.1200

ETHICS STATEMENT

The studies involving human participants were reviewed and approved by TOULON UNIVERSITY. Written informed consent to participate in this study was provided by the participants' legal guardian/next of kin.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

GL, OG, and JP conceived and designed the study. PP, JG, and J-JR assisted with the technical and medical aspects of the protocol, recruited all participants, and involved in the acquisition of data. GL, OG, SC, and PP analyzed the data. GL, OG, and SC performed the statistical analysis. MB provided the mathematic model. GL, OG, PD, and SC drafted the article while MB, JG, and JP revised it critically for important intellectual content. All authors gave final approval of the version to be published.

FUNDING

This study was supported by a grant received from the French Rugby Federation. The funds were used to pay the rest of anthropometric materials and travel expenses.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank all the young rugby players and their coaches of the Provence Côte d'Azur County (France) for their willingness to participate in this study.

- Cunning, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., and Malina, R. M. (2017). 'Bio-handling in Sport: Applications to Competition, Talent Identification, and Strength and Conditioning of Youth Athletes'. *Strength Cond. J.* 39, 34–47. doi: 10.1519/SSC.0000000000000281
- Detanico, D., Koss, R. L., Fukuda, D. H., and Teixeira, A. S. (2020). Physical Performance in Young Judo Athletes: Influence of Somatic Maturation, Growth, and Training Experience. *Res. Q. Exerc. Sport* 91, 425–432. doi: 10.1080/02701367.2019.1679334
- Durnin, J. V., and Rahaman, M. M. (1967). 'The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness'. *Br. J. Nutr.* 21, 681–689. doi: 10.1079/bjn19670070
- Fonseca-Junior, S. J., Oliveira, A. J., Loureiro, L. L., and Pieracci, A. P. T. (2017). 'Validity of Skinfold Equations, Against Dual Energy X Ray Absorptiometry, in Predicting Body Composition in Adolescent Pentathletes'. *Progr. Exerc. Sci.* 29, 285–293. doi: 10.1123/pes.2016-0101
- Freedman, D. S., Wang, J., Maynard, L. M., Thornton, J. C., Mei, Z., Pierson, R. N. Jr., et al. (2005). 'Relation of BMI to fat and fat-free mass among children and adolescents'. *Int. J. Obes.* 29, 1–8. doi: 10.1038/sj.ijo.0802735
- Garatty, O., Lentin, G., Penery, F., Delestret, A., Chaumet, G., Bousnages, A., et al. (2018). 'A Cross-Sectional Study Assessing the Contributions of Body Fat Mass and Fat-Free Mass to Body Mass Index Scores in Male Youth Rugby Players'. *Sports Med. - Open* 4, 17. doi: 10.1186/s40798-018-0130-7

- Hattori, K., Tatsumi, N., and Tanaka, S. (1997). 'Assessment of body composition by using a new chart method'. *Am. J. Hum. Biol.* 9, 573–578. doi: 10.1002/(sici)1520-6300(1997)09<573::aid-ajhb5>3.0.co;2-v
- Howard, S. M., Cumming, S. P., Atkinson, M., and Malina, R. M. (2016). Biological maturity-associated variance in peak power output and momentum in academy rugby union players. *Eur. J. Sport Sci.* 16, 972–980. doi: 10.1080/17461391.2016.1205144
- Javed, A., Jumean, M., Morad, M. H., Okoroada, D., Kumar, S., Somers, V. K., et al. (2015). 'Diagnostic performance of body mass index to identify obesity as defined by body adiposity in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis'. *Pediatr. Obes.* 10, 234–244. doi: 10.1111/ijpo.242
- Krause, L. M., Naughton, G. A., Denny, G., Patton, D., Hartwig, T., and Gabbett, T. J. (2015). 'Understanding mismatches in body size, speed and power among adolescent rugby union players'. *J. Sci. Med. Sport* 18, 358–363. doi: 10.1016/j.jsams.2014.05.012
- Lambert, M., Forbes, I., and Brown, J. (2010). *Age vs weight category rugby. 461 (Report)* South African Rugby Union. BokSmart. ***q
- Lohman, T. G. (1992). *Advances in body composition assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Malina, R. M., Morano, P. J., Barrow, M., Miller, S. J., Cumming, S. P., Kontos, P. K., et al. (2007). 'Overweight and Obesity among Youth Participants in American Football'. *J. Pediatr.* 151, 378–382. doi: 10.1016/j.jpeds.2007.03.044
- McCoy, G., Piggot, J., Macafoe, A. L., and Adair, V. (1984). Injuries of the cervical spine in schoolboy rugby football. *J. Bone Joint. Surg. Br* 66-B, 500–503. doi: 10.1302/0301-620X.66B4.6746681
- McCann, R., Weston, M., Hill, J. K. A., Johnston, R. D., and Gibson, N. V. (2017). 'Influence of Physical Maturity Status on Sprinting Speed Among Youth Soccer Players'. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31, 1795–1801. doi: 10.1519/JSC.0000000000001654
- McIntosh, A. S., French, C., and Romiti, M. (2005). *Study of team divisions and anthropometry in CAS rugby*. Kensington: UNSW.
- Milburn, P. D. (1996). 'The kinetics of rugby union scrummaging'. *J. Sports Sci.* 8, 47–60. doi: 10.1080/02640419008732150
- Nutton, R. W., Hamilton, D. F., Hutchison, J. D., Mitchell, M. I., Simpson, A. H. R. W., and Maclean, J. G. B. (2012). Variation in physical development in schoolboy rugby players: can maturity testing reduce mismatch? *BMJ Open* 2:e001148. doi: 10.1136/bmjopen-2012-001149
- Okoroada, D. O., Jumean, M. F., Montori, V. M., Romero-Corral, A., Somers, V. K., Erwin, P. J., et al. (2010). 'Diagnostic performance of body mass index to identify obesity as defined by body adiposity: a systematic review and meta-analysis'. *Int. J. Obes.* 34, 791–799. doi: 10.1038/ijo.2010.5
- Pain, M. T. G., Trak, F., and Cove, S. (2008). 'In vivo determination of the effect of shoulder pads on tackling forces in rugby'. *J. Sports Sci.* 26, 855–862. doi: 10.1080/02640410801910319
- Patton, D. A., McIntosh, A. S., and Denny, G. (2016). 'A Review of the Anthropometric Characteristics, Grading and Dispensation of Junior and Youth Rugby Union Players in Australia'. *Sports Med.* 46, 1067–1081. doi: 10.1007/s40279-016-0481-5
- Perroni, F., Pintus, A., Frandino, M., Goldetti, L., and Baldari, C. (2018). 'Relationship Among Repeated Sprint Ability, Chronological Age, and Puberty in Young Soccer Players'. *J. Strength Cond. Res.* 32, 364–371. doi: 10.1519/JSC.0000000000001799
- Schatz, Y., Kyle, U. U. G., and Pichard, C. (2002). 'Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18–98 y'. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord* 26, 953–960. doi: 10.1038/ijo.0802057
- Sedeaud, A., Marc, A., Schipman, J., Schaal, K., Daniel, M., Guillaume, M., et al. (2014). 'Secular trend: morphology and performance'. *J. Sports Sci.* 32, 1146–1154. doi: 10.1080/02640414.2014.889841
- Sedeaud, A., Vidalin, H., Tafflet, M., Marc, A., and Toussaint, J. F. (2013). 'Rugby morphologies: "bigger and taller", reflects an early directional selection'. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 53, 8.
- Till, K., Cobley, S., O'Hara, J., Brightmore, A., Cooke, C., and Chapman, C. (2011). 'Using anthropometric and performance characteristics to predict selection in junior UK Rugby League players'. *J. Sci. Med. Sport* 14, 264–269. doi: 10.1016/j.jsams.2011.01.006
- Tucker, R., Hahery, M., and Verhagen, E. (2016). 'Injury risk and a tackle ban in youth Rugby Union: reviewing the evidence and searching for targeted, effective interventions. A critical review'. *Br. J. Sports Med.* 50, 921–925. doi: 10.1136/bjsports-2016-096322
- Vanhalla, T. B., Yang, M. U., Heymsfield, S. B., Funk, R. C., and Boslean, R. A. (1990). 'Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status'. *Am. J. Clin. Nutr.* 52, 953–959. doi: 10.1093/ajcn/52.6.953
- Webster, J. D., Hesp, R., and Garrow, J. S. (1984). The composition of excess weight in obese women estimated by body density, total body water and total body potassium. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.* 38, 299–306.
- Weeks, B. K., and Beck, B. R. (2012). 'Twice-weekly, in-school jumping improves lean mass, particularly in adolescent boys'. *Pediatr. Obes.* 7, 196–204. doi: 10.1111/j.2047-6310.2011.00026.x
- Wells, J. C. K. (2001). A critique of the expression of paediatric body composition data. *Arch. Dis Child.* 85, 67–72. doi: 10.1136/adc.85.1.67
- Wells, J. C. K., Frewell, M. S., Williams, J. E., Haroun, D., Lawson, M. S., and Cole, T. J. (2006). 'Body composition in normal weight, overweight and obese children: matched case-control analyses of total and regional tissue masses, and body composition trends in relation to relative weight'. *Int. J. Obes.* 30, 1506–1513. doi: 10.1038/sj.ijo.0803402
- World Rugby (2016). *Weight Consideration Guideline*. Available online at: <http://playerwelfare.worldrugby.org/?subsection=64> (accessed September 15, 2016).

Conflict of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2021 Lafont, Cumming, Pacione, Pezery, Bouchonnet, Gaidon, Raymond, Duché and Goussry. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Résumé en français

Le but de ce travail est de caractériser la surcharge pondérale de jeunes joueurs de rugby (9-14 ans) à partir de la contribution des masses grasse et maigre à la valeur de l'IMC. Selon les critères IOTF, 33 % des jeunes joueurs sont considérés en surpoids, et 14 % sont classés comme obèses. Cependant, la contribution moyenne du tissu maigre dans l'excès de corpulence semble loin d'être insignifiante (44,3 %) chez ces joueurs en surpoids et obèses. Ainsi, la surestimation moyenne de la prévalence du surpoids et de l'obésité selon les critères IOTF est estimée à près de 20 %, pour des joueurs dont l'excès de corpulence (75^{ème} percentile) est lié exclusivement à un excès de masse maigre. La stratégie de catégorisation par la masse corporelle semble être efficace pour limiter les disparités de composition corporelle. La représentation graphique d'Hattori contribue à la détection de la minorité des jeunes joueurs aux morphotypes atypiques nécessitant une prise en charge adaptée. La simple mesure des circonférences est susceptible de prédire ces différents morphotypes, et pourraient être ainsi réalisées en routine par l'encadrement sportif dans une stratégie prophylactique et d'amélioration des performances.

Mot clés : surpoids, diagnostic, jeune sportif.

Overweight among young rugby player : diagnostic indicators

Résumé en anglais

The aim of this work is to characterize excess weight of young rugby players (9-14 years old), from the contributions of body fat mass and fat-free mass to BMI score. According to the IOTF criteria, 33 % of young players are considered overweight, and 14 % are classified as obese. However, the average contribution of lean body mass to excess body size appears far from insignificant (44.3 %) in these overweight and obese players. Thus, the average overestimation of the prevalence of overweight and obesity according to the IOTF criteria is estimated at nearly 20 %, for players whose excess body size (75th percentile) is linked exclusively to excess lean body mass. The strategy of categorization by body mass appears to be effective in limiting disparities in body composition. Hattori's graphic representation helps detect the minority of young players with atypical morphotypes requiring appropriate care. The simple measurement of circumferences is likely to predict these different morphotypes, and could thus be carried out routinely by coaches/sports staff a prophylactic and performance-enhancing strategy.

Keywords : overweight, diagnostic, young athlete.