

Année universitaire 2024-2025

Master 1<sup>ère</sup> année

Master STAPS mention : *Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive*

Parcours : *Préparation du sportif : aspects physiques, nutritionnels et mentaux*

## MÉMOIRE

**TITRE : Effets d'un entraînement neuromusculaire sur le développement des qualités athlétiques en fonction du statut de maturité chez le jeune joueur de football élite.**

Par : **Axel ONILLON**

Sous la direction de : **Jérémy COQUART**

Soutenu à la Faculté des Sciences du Sport et  
de l'Éducation Physique le :

19/05/2025



« Le département des Sciences du Sport et de l'Éducation Physique de l'UFR3S n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires ; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

## Remerciements

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Un grand merci au Racing Club de Lens pour m'avoir accueilli en stage et permis de mener à bien ce travail. Je tiens à adresser une mention particulière à Jonathan Catalano, responsable développement et performance de la formation, pour m'avoir aidé et guidé durant toute l'année. Merci infiniment à Lucien Bellanger, Dogkan Bozok, Marius Gosset et Lucas Della Franca pour leurs échanges enrichissants, leur disponibilité, leur aide précieuse et les conseils qu'ils m'ont apportés au quotidien.

Je remercie également Éric Assadourian, Anthony Rogie, Olivier Bijotat et Yvan Dzierzynski pour la confiance qu'ils m'ont accordée durant la réalisation de ce mémoire.

Merci à l'ensemble des joueurs U14, U15 et U17 du RC Lens pour leur engagement quotidien et leur implication dans leur préparation athlétique.

Je remercie Monsieur Jérémy Coquart, mon directeur de mémoire, pour son accompagnement, sa pédagogie, ses éclaircissements et son soutien tout au long de cette année.

Et bien sûr, un immense merci à mes proches pour leur soutien constant durant cette année intense de travail.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Revue de littérature.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Les qualités athlétiques étudiées .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.1 La Force .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.2 La Vitesse .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.3 La Puissance.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.4 La Coordination .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 La maturité.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1 Les diverses conceptions de l'âge .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2 Les courbes de croissance .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.3 Les différences en Préformation et Formation .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 L'Entraînement neuromusculaire.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.1 Définition.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.2 Effets sur le développement des qualités athlétiques en fonction du statut de maturité .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2.1 La Force, la Vitesse, la Puissance .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2.2 La Coordination .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Problématique, objectifs, hypothèses .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Problématique .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Objectifs .....</b>	<b>11</b>
<b>3.3 Hypothèses.....</b>	<b>11</b>
<b>4. Le stage .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Milieu professionnel.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Les sujets .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 Matériels et techniques de mesure .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 Les tests .....</b>	<b>14</b>
<b>4.4.1 Sprint sur 30 mètres (my sprint).....</b>	<b>14</b>
<b>4.4.2 Le Countermovement Jump (CMJ) .....</b>	<b>15</b>
<b>4.4.3 Le Standing Broad Jump.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4.4 Le Stiffness test (5 sauts répétés) .....</b>	<b>17</b>
<b>4.4.5 Le Tapping 4 secondes .....</b>	<b>18</b>
<b>4.5 Le protocole.....</b>	<b>19</b>
<b>4.6 Analyse statistique .....</b>	<b>20</b>
<b>5. Résultats.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 La force (F0 N/kg).....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 La vitesse (30 mètres).....</b>	<b>22</b>
<b>5.3 La puissance .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3.1 Le CMJ.....</b>	<b>23</b>
<b>5.3.2 Le Standing Broad Jump.....</b>	<b>24</b>
<b>5.3.3 Le Stiffness test (5 sauts répétés) .....</b>	<b>25</b>
<b>5.4 La coordination (Tapping 4 secondes).....</b>	<b>26</b>
<b>6. Discussion .....</b>	<b>27</b>

6.1	Interprétation .....	27
6.2	Limites.....	29
6.3	Applications sur le terrain .....	30
6.4	Perspectives .....	30
7.	<i>Conclusion</i> .....	30
8.	<i>Bibliographie</i> .....	31
9.	<i>Annexes</i> .....	35
10.	<i>Résumés français et anglais, mots clés</i> .....	38
10.1	Résumé français.....	38
10.2	Résumé anglais .....	39
11.	<i>Compétences acquises</i> .....	40

## Glossaire

APHV : Age of Peak Height Velocity : Âge au pic de croissance

CMJ : Countermovement Jump : Saut à contre mouvement

COD : Change of Direction : Changement de direction

F0 : Force horizontale maximale théorique

MID : Milieu

NMT : Entraînement neuromusculaire

PHV : Peak Height Velocity : Pic de croissance

Pmax : Puissance maximale

POST : Après

PRE : Avant

PROFIL F-V : Profil Force-Vitesse

RSI : Reactiv Strenght Index : Indice de force réactive

U13 : Under 13 (moins de 13 ans)

U14 : Under 14 (moins de 14 ans)

U15 : Under 15 (moins de 15 ans)

U16 : Under 16 (moins de 16 ans)

U17 : Under 17 (moins de 17 ans)

U19 : Under 19 (moins de 19 ans)

V0 : Vitesse maximale théorique

## 1. Introduction

À ce jour, le football est le sport le plus populaire dans le monde. « La FIFA recense 270 millions de pratiquants, compte 301 000 clubs, 38 287 000 licenciés dont 113 000 joueurs sont professionnels » (Vigne, 2011). Ce sport a le pouvoir de rassembler les populations du monde entier. Le football se définit comme « un sport collectif opposant deux équipes de onze joueurs sur un terrain dans un stade. L'objectif de chaque formation est de mettre un ballon sphérique dans le but adverse, sans utiliser les bras, et de le faire plus souvent que l'autre équipe » (Vigne, 2011).

Dans les sports intermittents comme le football, la force, la puissance et la vitesse sont des facteurs essentiels pour la performance sportive. La coordination est elle aussi considérée comme une qualité primordiale pour le footballeur (Dellal, 2020). Pour cette raison, les chercheurs et les praticiens proposent différentes approches d'entraînement pour améliorer ces capacités neuromusculaires spécifiques (Kobal et al., 2017).

Dans ces différentes approches d'entraînement pour améliorer les qualités athlétiques, des éléments importants sont à prendre en compte comme l'âge relatif et la maturation biologique. L'âge relatif est déterminé par la date de naissance et la date limite de sélection. Il fait référence à l'âge chronologique d'un joueur au sein de son groupe d'âge spécifique. Ainsi, les joueurs du même groupe d'âge (par exemple : U13, U14, U15) peuvent avoir presque douze mois d'écart en âge chronologique. Les joueurs nés plus tôt dans leur année de sélection ont une plus grande probabilité d'être sélectionnés dans le processus d'identification des talents par rapport à ceux nés plus tard dans l'année (Peña-González et al., 2018). Les Centres de Formation étant considérés comme une voie essentielle dans le développement à long terme des jeunes joueurs, avec l'objectif principal d'identifier et de développer des joueurs talentueux pour concourir au niveau professionnel (Carling et al., 2009). La maturation biologique ou âge biologique correspond au processus de progression vers un état mature qui varie entre les différents systèmes du corps et entre les individus. La variance de la maturation biologique est le résultat de facteurs génétiques et environnementaux. Il est donc tout à fait possible pour un joueur d'être à la fois le plus jeune et le plus mature de son groupe d'âge, et vice versa (Radnor et al., 2021).

Ainsi, dans cette étude, nous allons nous intéresser aux effets d'un entraînement neuromusculaire sur le développement des qualités athlétiques en fonction du statut de maturité chez le jeune joueur de football élite. Dans la seconde partie, nous ferons une revue de littérature dans laquelle nous allons définir les différents termes et paramètres abordés dans ce mémoire. Cette revue fera également l'état des connaissances actuelles relatives à notre sujet d'étude. Elle conduira, dans une troisième partie, à

l'annonce de la problématique, des objectifs et des hypothèses de cette étude. Ensuite, la quatrième partie nous permettra de mettre en avant le milieu professionnel dans lequel ce travail a été réalisé en évoquant le public étudié, le matériel et les techniques de mesure utilisées et le protocole expérimental mis en place. La cinquième partie présentera les résultats obtenus. Enfin, la sixième partie sera consacrée à la discussion des résultats en les comparant notamment avec les études présentées dans la revue de littérature.

## **2. Revue de littérature**

### **2.1 Les qualités athlétiques étudiées**

#### **2.1.1 La Force**

Selon Reiss et Prévost (2021), la force est définie de la manière suivante : « capacité du muscle à générer une tension interne suite à une stimulation nerveuse qui s'exprime par rapport à un segment corporel et/ou à une charge additionnelle (externe) ». Le football est un sport intermittent, caractérisé par une alternance d'activités de haute et de faible intensité, y compris les sprints, les sauts, les tacles et de nombreux changements de direction (COD). Au cours d'un match de football, les joueurs font entre 1 200 et 1 400 changements de direction, 30 à 40 tacles et sauts, et couvrent de 1 à 11 % de leur distance totale en sprints, 49 % de ces sprints étant inférieurs à 10 m (Hammami et al., 2017). Ainsi, les joueurs ont donc besoin de force pour sprinter, changer de direction, sauter, ou encore conserver/intercepter le ballon avant qu'un adversaire ne puisse marquer (Chelly et al., 2009). Aujourd'hui, c'est pour cela que l'ensemble des footballeurs de haut niveau effectuent quotidiennement des séances de musculation ou de renforcement musculaire sur le terrain afin de développer/entretenir cette qualité primordiale dans la pratique du football. Selon Wilson et al. (1993), il existe plusieurs types d'entraînement en force, la variable la plus importante dans l'augmentation de la force est la charge appliquée aux muscles. Ainsi en football, elle peut être travailler par l'intermédiaire de la pliométrie (bonds verticaux et horizontaux). Ils ont également démontré que l'entraînement spécifique à la vitesse maximise les gains de force et de puissance pour les athlètes.

#### **2.1.2 La Vitesse**

« La vitesse est la faculté de faire parcourir à son corps ou à ses membres la plus grande distance dans un temps donné ou d'effectuer le temps le plus court sur une distance donnée » (Reiss et Prévost, 2021). Dans cet ouvrage, ces mêmes auteurs décomposent la vitesse en 4 étapes : le départ (vitesse de réaction, temps de réaction), l'accélération (taux de montée en force-vitesse, explosivité), la vitesse

maximale (vitesse d'action, fréquence et vitesse gestuelle) puis le maintien de la vitesse et la décélération (énergétique, baisse des substrats). En football, la vitesse est la qualité phare, plus les années passent et plus le jeu s'accélère, plus les joueurs courent vite, plus le ballon circule vite. L'étude de Al Haddad et al. (2015) s'est intéressée à la vitesse maximale atteinte lors d'un match en fonction de la catégorie d'âge. Les résultats montrent que plus l'âge augmente et plus la vitesse maximale atteinte lors d'un match augmente également (U13 :  $23,4 \pm 1,8$  km/h ; U14 :  $25,1 \pm 2,3$  km/h ; U15 :  $25,6 \pm 2,4$  km/h ; U16 :  $26,2 \pm 2,5$  km/h ; U17 :  $26,8 \pm 1,9$  km/h). Carminati et Di Salvo (2003), ont démontré que cette vitesse maximale pouvait être atteinte à partir de 18 mètres. En effet, lors d'un match 90% des sprints sont inférieurs à 20 mètres (Vigne et al., 2010), ces sprints ne s'effectuent la plupart du temps pas en ligne droite. Ainsi, pour travailler la vitesse en football, il est important de travailler sur des distances courtes, en incluant des changements de direction (COD) et en respectant les périodes de récupération afin de se rapprocher le plus possible de la réalité des matchs.

### **2.1.3 La Puissance**

La puissance est définie comme le produit de la force par la vitesse ou la quantité de travail produite par unité de temps (Dufour, 2009). L'objectif est de réussir à fournir un niveau de force conséquent avec une contrainte de vitesse. Comme évoqué précédemment, le football devient de plus en plus athlétique, pour gagner un duel de course ou de saut, pour attraper le ballon avant l'adversaire et pour marquer, une puissance musculaire élevée à court terme est nécessaire (Chelly et al., 2009). Comme le montre cette étude et celle de Murtagh et al. (2018), la puissance est souvent associée à des sauts ou à la vitesse. Étant donné que la poussée de croissance de l'adolescent (l'augmentation rapide de la taille et du poids) varie en termes de timing et de vitesse, elle est étroitement associée à l'amélioration de la puissance chez les jeunes joueurs de football (Philippaerts et al., 2006). Pour développer cette puissance, différentes méthodes d'entraînement sont possibles : les sauts, les sprints, les changements de direction, la musculation ou encore la pliométrie. Le but principal étant de baser son entraînement sur les actions spécifiques au sport afin d'obtenir des adaptations neuronales et un développement optimal de la puissance (Silva et al., 2015).

### **2.1.4 La Coordination**

D'après Dellal (2020), « La coordination est la capacité à répondre rapidement à des situations imprévisibles, ce dans les délais les plus brefs possible. L'aptitude à combiner des actions motrices aléatoirement agencées est inhérente à une bonne qualité de vivacité permettant ainsi de répondre à toutes les situations footballistiques à la fois avec et sans ballon. Les notions de vitesse d'exécution, de vitesse gestuelle, de rythmicité, d'analyse ou encore d'équilibre sont centrales dans son

développement. » La majeure partie du travail de coordination se développe durant la période prépubère et à la puberté avec une période de perfectionnement de cette qualité généralement entre 5 et 12 ans, qualifiée d'« âge d'or » (Dellal, 2020). Il est essentiel de travailler cette qualité avant et pendant la puberté pour toutes les raisons mentionnées ci-dessus. C'est un axe majeur à fortifier pour que le joueur acquière une maîtrise des différentes capacités de coordination dès son entrée en Centre de Formation en U16. Les différentes capacités de coordination à travailler ont été définies par Iddir et Azzouzi (2023).

On les regroupe sous l'acronyme **ORDRE** :

- La capacité d'**O**rientation : Capacité à adapter de manière efficace son comportement moteur en fonction des modifications spatio-temporelles.
- La capacité de **R**éaction : Capacité à mettre en application une action appropriée à la suite de signaux de différentes formes dans un bref délai.
- La capacité de **D**issociation : Capacité à nuancer et différencier un travail de motricité sur différentes parties du corps en même temps.
- La capacité de **R**ythme : Capacité de réaliser de manière efficace un mouvement cadencé et dynamique ou à saisir une allure imposée.
- La capacité d'**É**quilibre : Capacité à maintenir son corps ou une partie de son corps dans une position à l'arrêt ou bien en mouvement.

## 2.2 La maturité

### 2.2.1 Les diverses conceptions de l'âge

*L'âge relatif et l'âge chronologique :*

Comme mentionné plus tôt, l'âge relatif se définit en fonction de la date de naissance et de la date limite de sélection. Il fait référence à l'âge chronologique d'un joueur au sein de son groupe d'âge spécifique. Par conséquent, les joueurs du même groupe d'âge (comme U13, U14, U15) peuvent présenter une différence d'âge chronologique allant jusqu'à presque douze mois (Peña-González et al., 2018). Étant donné que cette distinction peut être significative, il est crucial de la prendre en compte lors du processus d'identification des talents.

### *L'âge biologique :*

L'âge biologique ou maturation biologique correspond au processus de progression vers un état mature qui varie entre les différents systèmes du corps et entre les individus. La variance de la maturation biologique est le résultat de facteurs génétiques et environnementaux (Radnor et al., 2021). Ainsi, les jeunes peuvent être classés comme biologiquement « en avance » (early maturer), « à l'heure » (average maturer) ou « en retard » (late maturer) par rapport à leur âge chronologique (Malina et al., 2004).

Alors que l'âge chronologique est prévisible et facilement évalué, l'âge biologique est beaucoup plus difficile à évaluer. La méthode de référence pour évaluer la maturation utilise l'âge du squelette, mais en raison des dépenses et des exigences pour les radiographies spécialisées utilisant cette méthode, d'autres méthodes sont souvent utilisées (Lloyd et al., 2014). Le niveau d'évaluation le plus simple consiste à effectuer des évaluations anthropométriques longitudinales (taille debout, taille assise, ou encore masse corporelle).

### **2.2.2 Les courbes de croissance**

Analyser les courbes de croissance permet d'obtenir des informations en ce qui concerne le début de la croissance et la vitesse à laquelle le pic de croissance va être atteint (PHV). Compte tenu des limites associées à la collecte de données longitudinales pour identifier le PHV, des équations prédictives peuvent être utilisées pour prédire l'âge au PHV (APHV) à partir de mesures anthropométriques. Mirwald et al. (2002) ont proposé une équation prédictive basée sur la date de naissance, la taille debout, la taille assise, la masse corporelle. En fonction des résultats, les joueurs sont distingués en 3 groupes : « en avance », « normal » ou « en retard ». Nous utiliserons également cette même classification : ceux qui sont avant leur pic de croissance (PRE-PHV), ceux qui sont dedans (MID-PHV) et ceux qui l'ont passé (POST-PHV). Ce calcul de l'APHV permet ainsi d'identifier le statut de maturité de chaque joueur, autrement dit le niveau d'avancement de chacun dans sa croissance. L'âge idéal de prédiction est de 9 à 13 ans chez les femmes et de 12 à 16 ans chez les hommes.

### **2.2.3 Les différences en Préformation et Formation**

Dans un club professionnel comme le Racing Club de Lens, la préformation concerne les catégories d'âge U13, U14 et U15. Parmi tous ses joueurs, les meilleurs d'entre eux seront conservés à l'issue de la saison en U15 pour intégrer le Centre de Formation. Ainsi, la formation concerne les catégories U17 et U19 Nationaux. Tout au long de leur parcours, les joueurs vont être confrontés à des différences physiques plus ou moins marquées entre eux. C'est donc pour cela que les jeunes sont classés biologiquement « en avance », « normal », ou « en retard ».

Il a été démontré que les différences dans l'état de maturité des individus ont des implications sur le développement physique, psychologique et athlétique des adolescents masculins (Clemente et al., 2021). Les garçons qui mûrissent en avance sur leurs pairs connaissent leur poussée de croissance d'adolescents à un âge plus précoce et, par conséquent, sont plus grands et plus lourds dès la fin de l'enfance et possèdent une masse maigre absolue et relative plus grande. En raison de leur maturité avancée, les joueurs à maturité précoce ont également tendance à surpasser leurs homologues moins matures sur les tests de vitesse, de puissance, de force et d'agilité (Guimarães et al., 2019).

Compte tenu des avantages associés à la maturation avancée, il n'est donc pas surprenant que les garçons en début de maturité soient plus susceptibles d'être représentés et sélectionnés pour des sports où une plus grande taille, force et puissance sont des attributs souhaitables, comme dans le football (Clemente et al., 2021). En revanche, certains auteurs se contredisent, on peut donc voir que les joueurs nés plus tôt dans l'année de sélection sont fortement représentés dans le football des jeunes, mais en réalité il y a peu de preuves suggérant que les joueurs relativement plus âgés possèdent des avantages en termes de capacités fonctionnelles (Kelly et al., 2020).

## 2.3 L'Entraînement neuromusculaire

### 2.3.1 Définition

L'entraînement neuromusculaire (NMT) est une méthode d'entraînement de force et de conditionnement physique qui combine des mouvements fondamentaux et spécifiques au sport, notamment la résistance, l'équilibre, la force de base, la stabilité dynamique, les exercices d'agilité et la pliométrie, pour améliorer les compétences et la condition physique liée à la santé (Myer et al., 2011). En outre, l'entraînement neuromusculaire vise à améliorer la vitesse, la vitesse de réaction, l'agilité, la coordination et l'endurance chez les athlètes (Matin et al., 2014). Il a été prouvé que l'entraînement neuromusculaire influence la sensibilité et la réactivité du système nerveux central. Il améliore la puissance des athlètes en ciblant et en coordonnant les unités motrices et en augmentant l'activation musculaire. Ces améliorations entraînent des mouvements plus habiles et une amélioration significative de l'agilité, de l'équilibre, de la force musculaire, de la puissance musculaire et de l'endurance cardiorespiratoire chez les individus (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016). Les résultats de la revue systématique de Akbar et al. (2022) montrent également que l'entraînement neuromusculaire peut aider les athlètes à améliorer leur condition physique en ce qui concerne l'équilibre, l'agilité, la vitesse, la puissance musculaire, l'endurance musculaire et la coordination. L'entraînement neuromusculaire classique qui est le plus souvent retrouvé combine des exercices d'équilibre, de pliométrie, d'agilité, de renforcement musculaire et des exercices spécifiques au sport pratiqué comme la coordination (Quideçon, 2020).

## 2.3.2 Effets sur le développement des qualités athlétiques en fonction du statut de maturité

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux différentes études déjà présentes dans la littérature scientifique. Cela va nous permettre d'observer comment les jeunes joueurs répondent à un entraînement neuromusculaire ou aux différents éléments qui le compose en fonction de leur statut de maturité et quels sont les effets de ce dernier sur le développement de leurs qualités athlétiques.

### 2.3.2.1 *La Force, la Vitesse, la Puissance*

La méta-analyse réalisée par Chen et al. (2024) avait pour but d'explorer l'effet d'un entraînement pliométrique sur la force explosive des membres inférieurs en fonction des différents statuts de maturité de jeunes joueurs de football élite. Au total, 17 études portant sur 681 joueurs de football adolescents âgés de 10 à 19 ans ont été incluses. L'entraînement pliométrique a amélioré de manière significative les performances du CMJ à différents statuts de maturation. Le statut PRE-PHV a montré la meilleure amélioration. Des améliorations de la capacité de sprint sur 20 mètres ont été observées qu'aux statuts PRE-PHV et MID-PHV. Cette étude a conclu que l'entraînement pliométrique est une stratégie puissante pour développer la force explosive des membres inférieurs des footballeurs adolescents mais l'effet de l'entraînement est étroitement lié à la maturité biologique des joueurs.

Une autre étude réalisée par Liu et al. (2024) a montré l'efficacité de l'entraînement pliométrique par microdosage sur les performances de sauts, l'indice de force réactive (RSI) et l'accélération sur 10 mètres chez les jeunes joueurs de football. Cinquante-deux jeunes joueurs de football masculins ( $16,3 \pm 0,6$  ans) d'équipes de moins de 17 ans ont participé à une étude contrôlée randomisée, avec des interventions d'une durée de 8 semaines. Les résultats ont montré que les performances sur le squat jump, le CMJ, le RSI et temps de sprint sur 10 mètres ont toutes été améliorées. Cette étude révèle que l'entraînement pliométrique par microdosage et l'entraînement pliométrique traditionnel sont tous aussi efficaces pour améliorer les performances des joueurs. Cela suggère qu'un volume d'entraînement plus petit, réparti plus fréquemment tout au long de la semaine, peut effectivement induire des améliorations chez les jeunes joueurs de football.

Dans la continuité, l'étude réalisée par Kobal et al. (2017) a comparé les effets de différentes combinaisons de séquences d'entraînement en force (ST) et d'entraînement pliométrique (PT) sur les capacités de force, de saut, de vitesse et d'agilité des jeunes joueurs de football d'élite. Vingt-sept joueurs de football (âge :  $18,9 \pm 0,6$  ans) de statut POST-PHV ont participé à un programme d'entraînement en résistance de 8 semaines et ont été divisés en 3 groupes : entraînement complexe (CP) (ST avant PT), entraînement traditionnel (TD) (PT avant ST) et entraînement de contraste (CT) (ST et PT effectués alternativement, ensemble). Après la période expérimentale, la force maximale et la puissance en saut

vertical (CMJ) ont augmenté de la même manière dans les 3 groupes. En revanche il est important de noter que le groupe entraînement traditionnel (TD) a présenté une diminution significative de la vitesse de sprint à 10 (7%) et 20 mètres (6%). Les autres groupes n'ont pas montré cette réponse.

Une nouvelle fois, l'étude de Rodríguez-Rosell et al. (2017) qui s'est intéressée à l'effet de l'entraînement en force à grande vitesse (musculation à faible charge et à faible volume combinée à la pliométrie) sur la performance physique chez les jeunes joueurs de football d'âge différents a montré que le statut de maturité PRE-PHV obtient des meilleurs résultats que les statuts MID-PHV et POST-PHV. En effet, ce programme combiné de musculation et de pliométrie a été efficace pour obtenir des gains de force, de puissance et de sprint chez les joueurs de football d'âge et de statut de maturité différent mais le programme d'entraînement utilisé semble généralement moins efficace à mesure que l'âge des joueurs augmentait. L'étude réalisée par Díaz-Hidalgo et al. (2024) a également montré une amélioration de la hauteur de saut (puissance), de la vitesse de course, des changements de direction et de l'agilité après un entraînement en force de 8 semaines (2 séances par semaine) chez des joueurs de football pré-adolescents âgés de 12 à 13 ans.

Depuis le départ, l'ensemble de ces études nous montrent que les différentes composantes d'un entraînement neuromusculaire permettent d'améliorer les qualités athlétiques des jeunes joueurs de football mais le statut de maturité PRE-PHV semble être plus sensible à ces améliorations. Même si celles-ci sont plus importantes sur le statut PRE-PHV, rappelons-nous que les performances liées à la force et à la puissance augmentent avec l'âge chronologique tout comme la performance motrice (coordination) (Deprez et al., 2015). Concernant la vitesse, les performances en sprint commencent à s'améliorer entre 12 et 14 ans chez les garçons ce qui correspond la plupart du temps au statut PRE-PHV (Myburgh et al., 2020).

L'objectif de l'étude réalisée par Fernández-Galván et al. (2022) était de déterminer l'influence de l'état de maturation sur les composantes du profil force-vitesse chez les jeunes joueurs de football. Le groupe POST-PHV a montré de meilleurs résultats dans les composantes de profil F-V liées au sprint de la vitesse de pointe que ceux des groupes PRE et MID-PHV. Les auteurs expliquent cela par leur plus grande capacité à maintenir un rapport de force élevé tout au long du sprint et une diminution plus faible de la génération de force horizontale à des vitesses plus élevées. Une autre explication possible peut être que le groupe intermédiaire traverse la phase de « maladresse moteur », c'est lorsque la coordination motrice de l'athlète est perturbée par la croissance du tronc et des membres. Ces résultats montrent qu'à différentes phases de sprint (c'est-à-dire  $<10$  m ou  $>20$  m), les exigences neuromusculaires et biomécaniques sont spécifiques. Le développement de la performance dans le groupe PRE-PHV est influencé par l'âge chronologique, et celui dans les groupes MID et POST-PHV est influencé par les effets de maturation. Par conséquent, sur la base des résultats de la présente étude, les auteurs

recommandent des méthodes d'entraînement ciblant des adaptations au niveau neuronal (c'est-à-dire une meilleure qualité et coordination du mouvement grâce à l'entraînement neuromusculaire) pour l'optimisation de l'accélération chez les acteurs du groupe PRE-PHV. En termes généraux, il est recommandé aux joueurs des groupes MID-PHV et POST-PHV d'utiliser des méthodes d'entraînement combinées (c'est-à-dire l'entraînement en force, pliométrique et en sprint par résistance) visant l'amélioration de la force musculaire. Plus spécifiquement lié à l'entraînement au sprint, étant donné que les joueurs du groupe MID-PHV n'ont pas encore développé leurs adaptations liées à la maturation, l'utilisation d'exercices à dominante de puissance ou de vitesse tels que les sprints contre résistance ou assistés pourrait être recommandée pour améliorer la puissance maximale (Pmax) et la vitesse maximale théorique (V0).

Ces recommandations ont été démontrées dans la méta-analyse réalisée par Oliver et al. (2024). Celle-ci a étudié les effets de l'entraînement de force, de pliométrique et combiné sur les caractéristiques de force, de puissance et de vitesse chez les jeunes joueurs de football masculins de haut niveau. Les résultats ont démontré que les jeunes joueurs de football masculins de haut niveau peuvent connaître des gains positifs dans les indices de force, de puissance et de vitesse grâce à l'entraînement de force, pliométrique et combiné (par exemple, force + pliométrie, pliométrie + sprint).

Panagoulis et al. (2020) ont également étudié les effets d'un entraînement neuromusculaire sur les performances de joueurs de football pré-adolescents. Vingt-huit joueurs ont été répartis au hasard dans un groupe témoin (CG, n'a participé qu'à l'entraînement de football, N = 14, 11,4 ± 0,57 ans) ou dans un groupe expérimental (INT a été ajouté à l'entraînement de football conventionnel, N = 14, 11,2 ± 0,5 ans). L'entraînement neuromusculaire intégratif (INT) était de 8 semaines avec 3 séances par semaine. Il visait à développer la force du tronc, la force excentrique des ischio-jambiers, la musculature de la hanche/genou et la stabilité dynamique à l'aide d'exercices de masse corporelle, de médecine-ball, de planches à bascule, de bosu, etc. La vitesse de tir, la vitesse de course (10, 20 m), le changement de direction (COD), les performances de saut et la force ont été mesurés avant et après l'entraînement. L'entraînement neuromusculaire intégratif a amélioré la vitesse de 10 et 20 m (2,52-2,13 et 3,61-3,39 secondes, respectivement,  $p < 0,05$ ), la force (40,1-44,4 kg,  $p < 0,05$ ), la capacité de saut (saut de squat : 16,3-17,9 cm ; saut de contre-mouvement : 19,1-20,3 cm,  $p < 0,05$ ), le changement de direction (18,0-17,3 secondes,  $p < 0,05$ ) et la vitesse de tir (73,8-79,0 km/h,  $p < 0,05$ ). Ces résultats indiquent qu'un programme neuromusculaire intégratif de 8 semaines peut induire des adaptations positives dans les performances des joueurs de football en début d'adolescence.

### **2.3.2.2 La Coordination**

Enfin, en ce qui concerne la coordination, l'étude de Trajković et Bogataj (2020) s'est intéressée aux effets d'un entraînement neuromusculaire (NMT) de 8 semaines sur la compétence motrice et la performance physique chez des joueuses de volley-ball de 10 à 12 ans. Soixante-six participants ( $11,05 \pm 0,72$  ans) ont été randomisés dans le groupe NMT ( $N = 32$ ) ou le groupe témoin ( $N = 34$ ). Le sprint sur 10 mètres, des tests modifiés de test T, de planches, de saut vertical et de lancés de médecine-ball ont été utilisés pour évaluer la performance physique. Le Körperkoordinationstest für Kinder (KTK) a été utilisé pour évaluer la compétence motrice (coordination) des sujets. Ce test comporte des exercices de marche arrière, de sauts latéraux, de sauts à une jambe ou encore d'équilibre. Le NMT était effectué deux fois par semaine pendant les 30 premières minutes de chaque entraînement de volley-ball. Les participants du groupe témoin n'ont assisté qu'à leur entraînement régulier de volley-ball. Une interaction importante de groupe x temps a été trouvée pour le quotient moteur KTK et les sauts latéraux KTK. Il y a eu une interaction significative pour les résultats du test T modifiés et le saut vertical. Cette étude montre que l'entraînement neuromusculaire a favorisé des gains significatifs en termes de compétences motrices (coordination) et de performances physiques chez les jeunes joueuses de volley-ball.

Selon Akbar et al. (2022), les effets de l'entraînement neuromusculaire sur d'autres composantes de la forme physique, comme la coordination, les temps de réaction, la flexibilité, la forme cardiovasculaire, la forme cardiorespiratoire et la composition corporelle, devraient être étudiés davantage car l'entraînement neuromusculaire est essentiel pour les athlètes de tous âges et de tous sexes.

### **3. Problématique, objectifs, hypothèses**

#### **3.1 Problématique**

Le fil conducteur de ce mémoire est de savoir si un entraînement neuromusculaire permet de développer les qualités athlétiques des jeunes joueurs de football élite et plus particulièrement si le statut de maturité de chaque joueur peut avoir un impact sur le développement de ces qualités. Au cours de la revue de littérature, nous avons pu observer que les populations étudiées sur le sujet sont variées. Nous avons notamment pu mettre en avant comment les joueurs répondaient aux différents éléments constituant un entraînement neuromusculaire en fonction de leur statut de maturité. On a alors pu constater que les études portaient la plupart du temps sur quelques éléments de ce type d'entraînement (pliométrie, renforcement musculaire, agilité...) mais que très peu d'entre elles ont combinées ces différents éléments pour étudier l'effet d'un entraînement neuromusculaire complet. Dans cette étude nous chercherons alors à répondre à la problématique suivante : Sur quel statut de maturité l'entraînement neuromusculaire va avoir le plus d'effets pour développer les qualités athlétiques ?

#### **3.2 Objectifs**

Le premier objectif de cette étude est de vérifier qu'un entraînement neuromusculaire de 5 semaines a des effets sur le développement des qualités athlétiques en fonction du statut de maturité chez des jeunes joueurs de football élite. Le deuxième objectif sera de vérifier si un entraînement neuromusculaire a plus d'effets sur le développement des qualités athlétiques selon un statut de maturité.

#### **3.3 Hypothèses**

À la suite des résultats des différents études présentées dans la revue de littérature, nous pouvons émettre les hypothèses suivantes :

**H0** : L'entraînement neuromusculaire ne va pas améliorer les qualités athlétiques sur tous les statuts de maturité.

**H1** : L'entraînement neuromusculaire va améliorer les qualités athlétiques sur au moins un statut de maturité.

**H2** : L'entraînement neuromusculaire va davantage améliorer les qualités athlétiques sur le statut de maturité PRE-PHV.

## 4. Le stage

### 4.1 Milieu professionnel

Le stage s'effectue au sein du Racing Club de Lens (RC Lens), un club de football professionnel historique du championnat de France fondé en 1906. Aujourd'hui, le club regroupe environ 105 salariés et 540 licenciés. Inauguré en 2002, le Centre Technique et Sportif La Gaillette Gervais Martel constitue le lieu de vie quotidien des salariés, joueurs/joueuses, centre de formation et administratifs du Racing Club de Lens. Il compte 22 hectares de superficie, 15 terrains de football, le « Dôme Éric Sikora », 2 salles de musculation et un amphithéâtre de 250 places. Concernant les équipes jeunes, la préformation est constituée des équipes U13, U14 et U15. Les deux dernières équipes évoluent au plus haut niveau régional. La formation est constituée des équipes U17 et U19 Nationaux et la post formation est constituée de l'équipe réserve évoluant en National 3 (5<sup>ème</sup> division française).

L'équipe première du Racing Club de Lens évolue en Ligue 1 (1<sup>ère</sup> division française) et a notamment pu participer à la Coupe d'Europe ces dernières années. À la tête du club depuis 2018 se trouve Joseph Oughourlian, actuel président. Les matchs ont lieu au mythique stade Bollaert-Delelis ayant une capacité d'accueil de 38 223 personnes.

### 4.2 Les sujets

Cette étude est réalisée sur les catégories U14, U15 et U17 Nationaux afin d'avoir des joueurs qui ont des statuts de maturité différents. Pour déterminer ce statut de maturité nous utilisons la méthode de Mirwald et al. (2002) (Annexe 1). Le test de maturité a été réalisé avant et après le protocole afin de constater si les joueurs avaient changé ou non de statut durant cette période. Chaque catégorie s'entraîne 5 fois par semaine et joue un match tous les week-ends.

On compte 21 sujets (n = 21) pour cette étude. Nous avons 7 joueurs (n = 7) à statut de maturité PRE-PHV, 7 joueurs (n = 7) à statut de maturité MID-PHV et 7 joueurs (n = 7) à statut de maturité POST-PHV.

- PRE-PHV : âge moyen =  $13,9 \pm 0,4$  ans ; taille moyenne =  $156,6 \pm 5,4$  cm ; masse corporelle moyenne =  $42,7 \pm 3,5$  kg.
- MID-PHV : âge moyen =  $13,9 \pm 0,7$  ans ; taille moyenne =  $168,5 \pm 5,7$  cm ; masse corporelle moyenne =  $56,2 \pm 8,1$  kg.
- POST-PHV : âge moyen =  $15,7 \pm 0,5$  ans ; taille moyenne =  $175,8 \pm 6,5$  cm ; masse corporelle moyenne =  $66,1 \pm 9,5$  kg.

#### 4.3 Matériels et techniques de mesure

Pour la maturité (Mirwald et al., 2002), nous relevons la masse corporelle, la taille debout et la taille assise de chaque joueur depuis le début de saison. La masse corporelle est mesurée grâce à une balance sur laquelle chaque joueur est habillé uniquement avec un t-shirt et un short. Concernant la taille debout et la taille assise, elles sont mesurées grâce à un mètre. Pour la première, le joueur est debout contre un mur afin d'avoir le buste droit. Les pieds sont plats et la tête droite. Pour la taille assise, le joueur est assis par terre contre un mur avec la tête droite et les jambes tendues sur le sol. Toutes ces mesures sont faites à chaque début de mois afin d'avoir des intervalles réguliers et obtenir un suivi précis.

Durant ce protocole, le groupe contrôle et le groupe expérimental sont les mêmes. C'est-à-dire que tous les joueurs participent à ces 2 périodes. Afin de s'adapter aux contraintes du calendrier sportif, nous avons décidé avec l'ensemble du staff du RC Lens de réaliser notre période contrôle sur 5 semaines et notre période expérimentale sur 5 semaines également. Ces 2 périodes se succèdent. Durant la période contrôle, tous les joueurs participent uniquement à leurs séances d'entraînements de football habituel et leur match le week-end. Durant la période expérimentale, le déroulement est le même mais cette fois-ci les joueurs participent à un entraînement neuromusculaire en plus d'environ 15 à 20 minutes deux fois par semaine (mercredi et vendredi). Celui-ci est réalisé juste avant leur séance d'entraînement de football.

Afin d'évaluer la progression des joueurs au fur et à mesure de l'étude, ils vont effectuer une phase de test avant le début de la période contrôle (Test 1), à la fin de la période contrôle (Test 2) et à la fin de la période expérimentale (Test 3). Les tests effectués sont les suivants : un sprint sur 30 mètres (my sprint), le countermovement jump (CMJ), le standing broad jump, le stiffness test (5 sauts répétés) et le tapping 4 secondes. Chaque test sera expliqué plus en détails ci-dessous. Ils seront réalisés sur une semaine puis répétés à chaque fois 5 semaines après, jour pour jour, afin d'obtenir des données les plus fiables possibles. Chaque phase de test, sera réalisée dans des conditions similaires c'est-à-dire avec un échauffement standardisé. Ce dernier est le FIFA 11+, il est utilisé par l'ensemble des équipes du RC Lens. Ce programme se divise en 3 parties, une première partie composée de 6 exercices de course d'une durée totale de 8 minutes. La deuxième partie est basée sur la force, la pliométrie et l'équilibre. Elle comprend 6 exercices d'une durée totale de 10 minutes. Enfin la troisième et dernière partie dure 2 minutes, elle est composée de 3 exercices avec notamment de la course plus rythmée (Annexe 2).

Dans la volonté d'obtenir des données les plus fiables possibles, chaque joueur a participé à 3 sessions de familiarisation sur chaque test juste avant la première phase de test (Test 1). Ces sessions permettent alors aux joueurs de se préparer de façon optimale aux 3 phases de tests qu'ils vont réaliser par la suite dans les mêmes conditions. Tous les tests seront réalisés dans la salle de musculation du Centre de Formation. Le test de vitesse sur 30 mètres sera réalisé sur un terrain synthétique couvert par un dôme.

## 4.4 Les tests

### 4.4.1 Sprint sur 30 mètres (my sprint)

Ce test a pour objectif d'évaluer la vitesse et la force d'un joueur sur un sprint maximal. Ce test de sprint de 30 mètres sera réalisé à l'aide du logiciel « my sprint » qui a été créé par Jean Benoît Morin, spécialiste de la biomécanique en sprint (Morin, 2022). Il est couramment utilisé pour déterminer le profil force-vitesse des athlètes. Il a notamment été utilisé dans l'étude réalisée par De Barros Sousa et al. (2024). Les joueurs vont effectuer un sprint de 30 mètres dans un couloir d'une largeur de 1,22 mètre, le départ s'effectuera comme en position « starter » c'est-à-dire en position accroupie avec 4 appuis au sol. Des plots seront placés environ tous les 5 mètres (Figure 1). Cette marge d'erreur a été mise en place afin de traiter au mieux la vidéo par la suite grâce au logiciel « my sprint ». A l'aide de celui-ci, on pourra alors analyser la vidéo du sprint de chaque joueur et obtenir des valeurs de vitesse et de force sur l'ensemble du sprint. Pour la vitesse, nous utiliserons le temps sur 30 mètres. Pour la force, nous obtiendrons une valeur  $F_0$  (N/kg). Celle-ci est la force horizontale maximale théorique sans frottement, rapportée au poids de corps. Cette valeur permet de comparer la force relative de deux joueurs ayant des gabarits différents. Une  $F_0$  élevée signifie une meilleure capacité à produire de la force au démarrage d'un sprint, ce qui est crucial pour l'accélération.

Le déroulement de ce test se fera selon les étapes suivantes :

- Échauffement selon le programme FIFA 11+
- Deux essais par joueur
- Le meilleur des deux essais sera retenu

Le joueur réalisera son second essai après que ses coéquipiers auront respectivement effectué leur premier. Tous les joueurs seront vivement encouragés par leurs coéquipiers.

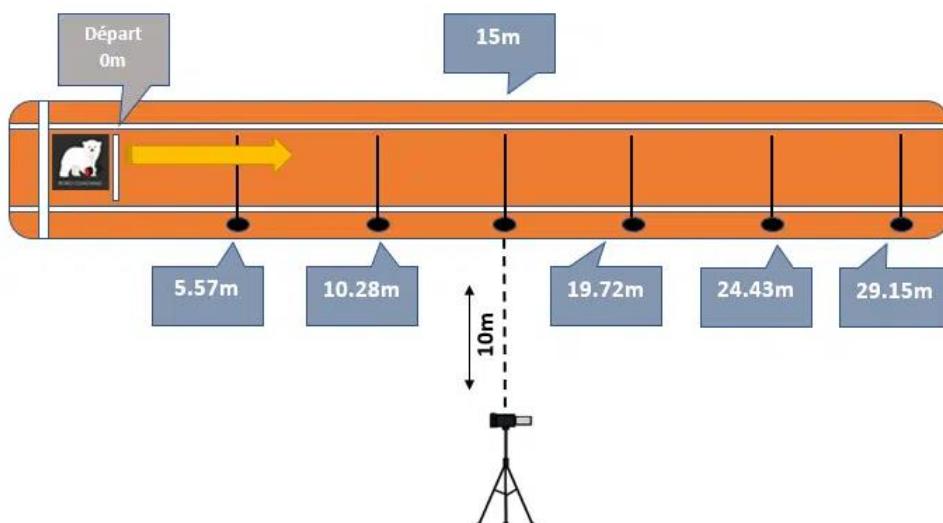


Figure 1 - Test de sprint sur 30 mètres réalisé à l'aide du logiciel « my sprint ».

#### 4.4.2 Le Countermovement Jump (CMJ)

Pour évaluer la puissance nous utiliserons le countermovement jump (CMJ). Ce test permettra de déterminer la puissance d'un joueur grâce à sa détente verticale. Il sera réalisé grâce à l'appareil Opto jump (Microgate Next, Bolzano, Italie) qui est un système photoélectrique qui utilise le temps de vol pour déterminer la hauteur de saut. Ce test a notamment été utilisé dans l'étude McKinlay et al. (2018). Durant ce test, le joueur doit sauter le plus haut possible avec les mains posées sur les hanches, en prenant une légère impulsion en flexion. Il doit atterrir sur les deux pieds en même temps (Figure 2).

Le déroulement de ce test se fera selon les étapes suivantes :

- Échauffement selon le programme FIFA 11+
- Deux essais par joueur
- Le meilleur des deux essais sera retenu

Le joueur réalisera son second essai après que ses coéquipiers auront respectivement effectué leur premier. Tous les joueurs seront vivement encouragés par leurs coéquipiers.

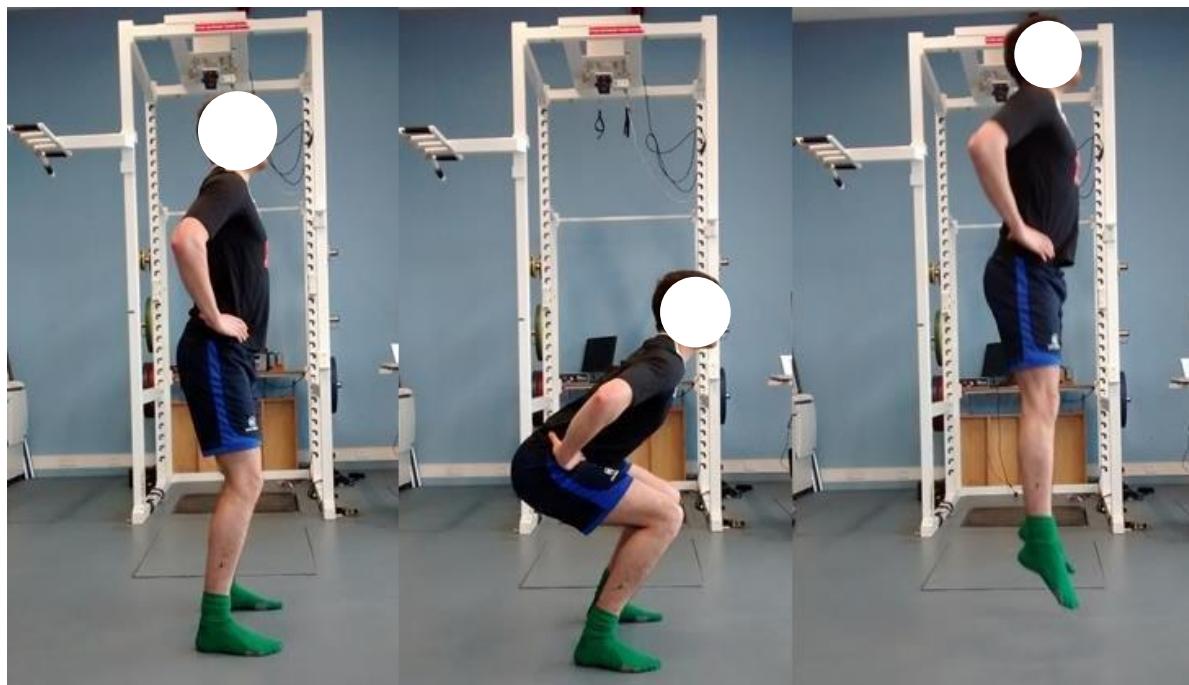


Figure 2 – Test de countermovement jump (CMJ).

#### 4.4.3 Le Standing Broad Jump

Pour évaluer la puissance, nous utiliserons également le test du standing broad jump qui permettra de déterminer la puissance grâce à la détente horizontale du joueur. Ce test couramment utilisé a notamment été effectué dans l'étude réalisée par Deprez et al. (2015) pour évaluer la puissance explosive des jambes chez le jeune joueur de football. Ainsi, le joueur démarrera avec les deux pieds au même niveau (sur la même ligne). Le but pour lui sera de sauter le plus loin possible en prenant une impulsion avec une légère flexion et en utilisant ses bras. Il devra réceptionner son saut en étant stable et en ayant les deux pieds au même niveau (Figure 3). La distance du saut sera déterminée par un décamètre du départ (pointe des pieds) à l'arrivée (talon).

Le déroulement de ce test se fera selon les étapes suivantes :

- Échauffement selon le programme FIFA 11+
- Deux essais par joueur
- Le meilleur des deux essais sera retenu

Le joueur réalisera son second essai après que ses coéquipiers auront respectivement effectué leur premier. Tous les joueurs seront vivement encouragés par leurs coéquipiers.



Figure 3 – Test du Standing Broad Jump.

#### 4.4.4 Le Stiffness test (5 sauts répétés)

Le Stiffness test (5 sauts répétés) va nous permettre de déterminer le RSI des joueurs. L'indice de force réactive (reactiv strength index – RSI) est une mesure utilisée pour quantifier la puissance des membres inférieurs chez le sportif. Il est calculé en divisant la hauteur du saut par le temps de contact au sol ( $RSI = \text{hauteur du saut (m)} / \text{temps de contact (s)}$ ). Ce test a été validé scientifiquement par Lloyd et al. (2009). Le but est de sauter le plus haut possible tout en ayant un temps de contact au sol minimum. Le joueur doit répéter 5 sauts en gardant les jambes tendues et les mains sur les hanches (Figure 4). Le RSI moyen sur les 5 sauts sera alors calculé grâce à l'appareil Opto jump (Microgate Next, Bolzano, Italie) évoqué précédemment.

Le déroulement de ce test se fera selon les étapes suivantes :

- Échauffement selon le programme FIFA 11+
- Deux essais par joueur
- Le meilleur des deux essais sera retenu

Le joueur réalisera son second essai après que ses coéquipiers auront respectivement effectué leur premier. Tous les joueurs seront vivement encouragés par leurs coéquipiers.

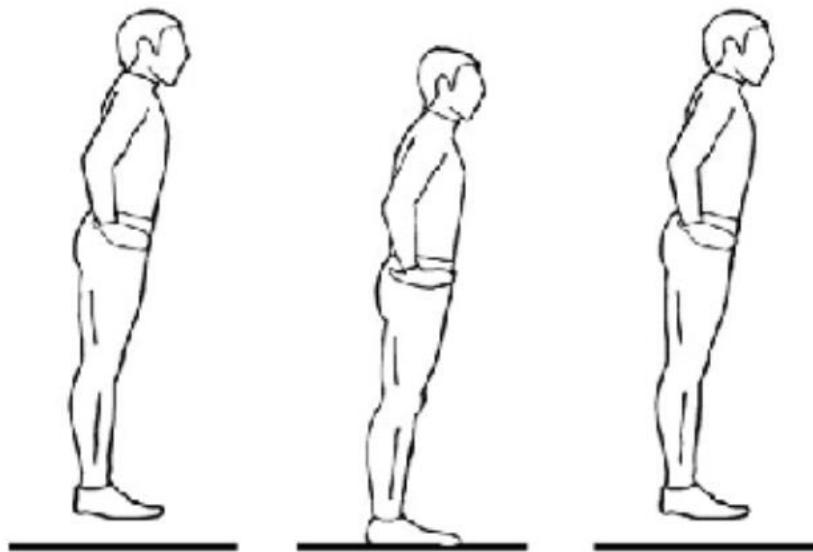


Figure 4 – Le Stiffness test (5 sauts répétés).

#### 4.4.5 Le Tapping 4 secondes

Le test de Tapping 4 secondes des jambes (Figure 5) est un test utilisé principalement pour évaluer la coordination motrice. La coordination entre les membres inférieurs et le système nerveux central est mise à l'épreuve. Le test demande une exécution précise et rapide d'un mouvement rythmique, ce qui sollicite la capacité à coordonner les différentes parties du corps pour accomplir la tâche de manière fluide et synchronisée. Il a été validé scientifiquement par Chaabouni et al. (2022). Le principe est le suivant : le joueur doit tapoter rapidement ses deux jambes l'une après l'autre pendant 4 secondes de manière répétée. Les bras sont libres. L'objectif est d'avoir une fréquence d'appuis la plus élevée possible. Chaque joueur débutera avec le pied droit en l'air et l'appareil Opto jump (Microgate Next, Bolzano, Italie) commencera à calculer le nombre d'appuis réalisés une fois que ce pied entrera en contact avec le sol et ce jusqu'à la fin des 4 secondes.

Le déroulement de ce test se fera selon les étapes suivantes :

- Échauffement selon le programme FIFA 11+
- Deux essais par joueur
- Le meilleur des deux essais sera retenu

Le joueur réalisera son second essai après que ses coéquipiers auront respectivement effectué leur premier. Tous les joueurs seront vivement encouragés par leurs coéquipiers.

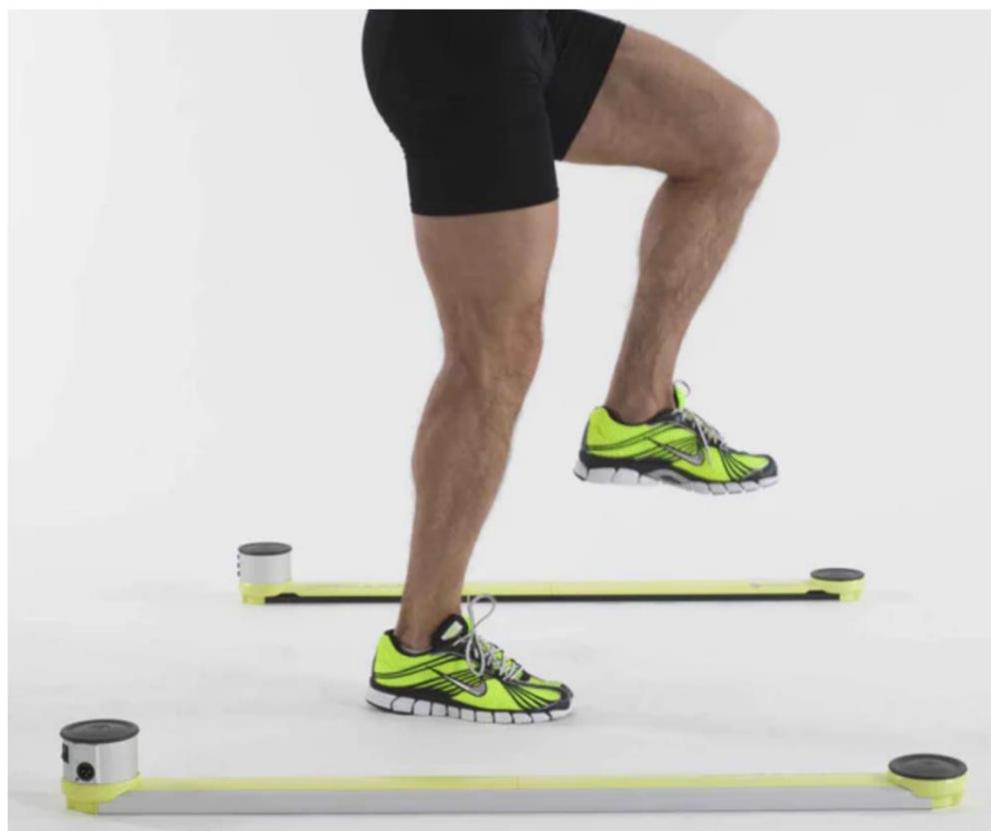


Figure 5 – Test de tapping 4 secondes.

## 4.5 Le protocole

Durant ce protocole, les joueurs devant être rapidement à la disposition des entraîneurs, chaque séance durera entre 15 et 20 minutes. Chacune d'entre elles sera précédée de l'échauffement FIFA 11+ (Annexe 2), nous réaliserons uniquement les parties 1 et 3 pour gagner du temps étant donné que le protocole effectué par la suite utilisera les mêmes thématiques que la partie 2 à savoir des exercices d'entraînement neuromusculaire. Nous utiliserons une seule et même séance à raison de 2 fois par semaine, elles seront réalisées le mercredi et le vendredi afin d'avoir 48h de récupération. Cette séance sera réalisée directement sur le terrain de football (en crampons sur surface synthétique). Pour que ce protocole soit applicable aux 3 catégories (U14, U15, U17) et pour s'adapter aux contraintes du matériel, les exercices seront réalisés au poids du corps. La charge d'entraînement sera augmentée de 10% par semaine (Gabbett, 2016) et cela jusqu'à la fin du protocole de 5 semaines. Seuls les passages sur l'échelle de rythme seront augmentés de 2 par semaine. Certains exercices utilisés sont notamment présentés dans les différentes études de la revue systématique de Akbar et al. (2022). Dans celle-ci, on peut notamment constater que la durée des études s'étend de 3 à 34 semaines avec 2 à 4 séances par semaine. Comme évoqué précédemment, pour s'adapter aux contraintes du calendrier sportif et faciliter la mise en place de ce protocole, nous avons décidé avec l'ensemble du staff du RC Lens d'effectuer ce protocole sur 5 semaines à raison de 2 séances par semaine.

Parmi les études qui m'ont aidé à construire ce protocole, nous avons l'étude de Trajković et Bogataj (2020) présente dans la revue de littérature qui s'est intéressée aux effets de l'entraînement neuromusculaire sur la compétence motrice et la performance physique chez les jeunes joueuses de volley-ball. Nous avons également les travaux de Carminati et Di Salvo (2003) qui ont démontré que la vitesse maximale pouvait être atteinte à partir de 18 mètres. Nous pouvons aussi citer l'étude de Liu et al. (2024) qui a montré que l'entraînement pliométrique par microdosage (41 sauts par semaine) améliore les performances de saut, l'indice de force réactive et l'accélération chez les jeunes joueurs de football. L'étude de McLeod et al. (2009) avait également pour projet de mettre en place des tests de courses sous forme de navettes. Enfin, Oliver et al. (2024) considèrent dans leur méta-analyse que l'accélération est travaillée sur des distances de 0 à 10 mètres et la vitesse sur 15 à 40 mètres.

Les exercices de notre séance initiale seront les suivants :

- 1) Échelle de rythme : 2 passages par joueur (de face, 2 appuis à l'intérieur et 2 appuis à l'extérieur de chaque case)
- 2) 4 bonds horizontaux bilatéraux + 3 bonds horizontaux unilatéraux sur chaque jambe (cloche-pied) + sprint de 10 mètres
- 3) 10 squats jump + un sprint de 18 mètres
- 4) Course navette sur 25 mètres aller + 5 mètres retour + 5 mètres aller

Nous retrouvons l'évolution des semaines en annexes (Annexe 3, Annexe 4, Annexe 5 et Annexe 6).

## 4.6 Analyse statistique

Les données quantitatives sont exprimées en moyenne +/- écart-type. Nous avons vérifié la normalité pour l'ensemble des 6 tests réalisés avec le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances par le test de Levene.

La normalité et l'homogénéité des variances étant respectées pour l'ensemble des tests effectués, nous avons utilisé le test paramétrique ANOVA à deux voies pour échantillons dépendants afin d'avoir l'effet du temps et l'évolution des caractéristiques de chaque groupe à la suite du protocole expérimental. Si  $p < 0,05$ , alors nous validons  $H_1$  et/ou  $H_2$  et l'entraînement neuromusculaire a eu un effet sur au moins un statut de maturité. Nous savons qu'il y a une différence mais ANOVA ne nous permet pas de déterminer à quel endroit elle se situe. Pour cela, nous faisons des tests post-hocs.

Si le test ANOVA indique, au niveau des répétitions intra-groupe, une valeur de  $p < 0,05$ , cela signifie qu'il y a une évolution significative entre les mesures effectuées dans le temps. Cependant, cette information ne permet pas de déterminer quel groupe est concerné. C'est pourquoi un test  $t$  de Student est ensuite appliqué. Si ce test révèle également une valeur de  $p < 0,05$ , alors cela indique une variation significative de la qualité athlétique en question entre les différents tests du groupe étudié.

Par ailleurs, si l'interaction entre les groupes et les répétitions dans le test ANOVA présente une  $p < 0,05$ , cela signifie que l'évolution diffère entre les groupes. L'analyse graphique permettra alors d'identifier lequel des trois groupes a connu une amélioration plus marquée.

La taille de l'effet a été calculé à l'aide du  $d$  de Cohen ( $d$ ). 0,2 est considéré comme un effet faible, 0,5 comme un effet moyen, 0,8 comme un effet élevé, 1,20 comme un effet très élevé et 2 comme un effet immense. La taille de l'effet se calcule en faisant la racine carrée de la ((moyenne après du groupe - moyenne avant du groupe) / (écart type avant)) soit  $\sqrt{((X_1 - X_2) / (SD_{control}))}$ .

Les valeurs sont considérées significatives pour un  $p < 0,05$  et encore plus significatives pour un  $p < 0,01$ .

Ce traitement statistique a été effectué avec le logiciel AnaStats et Excel Statistiques.

## 5. Résultats

Pour analyser les résultats, nous allons confronter les valeurs obtenues au cours des différents tests pour les trois groupes (PRE-PHV, MID-PHV et POST-PHV) concernant le sprint de 30 mètres, le countermovement jump (CMJ), le standing broad jump, le stiffness test (5 sauts répétés) et le test de tapping 4 secondes. Ces tests nous communiqueront des informations sur les qualités athlétiques de force, de vitesse, de puissance et de coordination. Dans un premier temps, l'évolution des trois groupes permettra de déterminer si l'entraînement neuromusculaire a eu un effet sur le développement des qualités athlétiques des joueurs. Dans un second temps, on pourra également observer si le statut de maturité influence ou non le développement de ces dernières en relevant si une différence existe. Pour garantir la fiabilité des données, les joueurs étudiés ont respecté les critères d'inclusion suivants : participation à 8 séances sur 10 minimum et à toutes les sessions de tests.

### 5.1 La force (F0 N/kg)

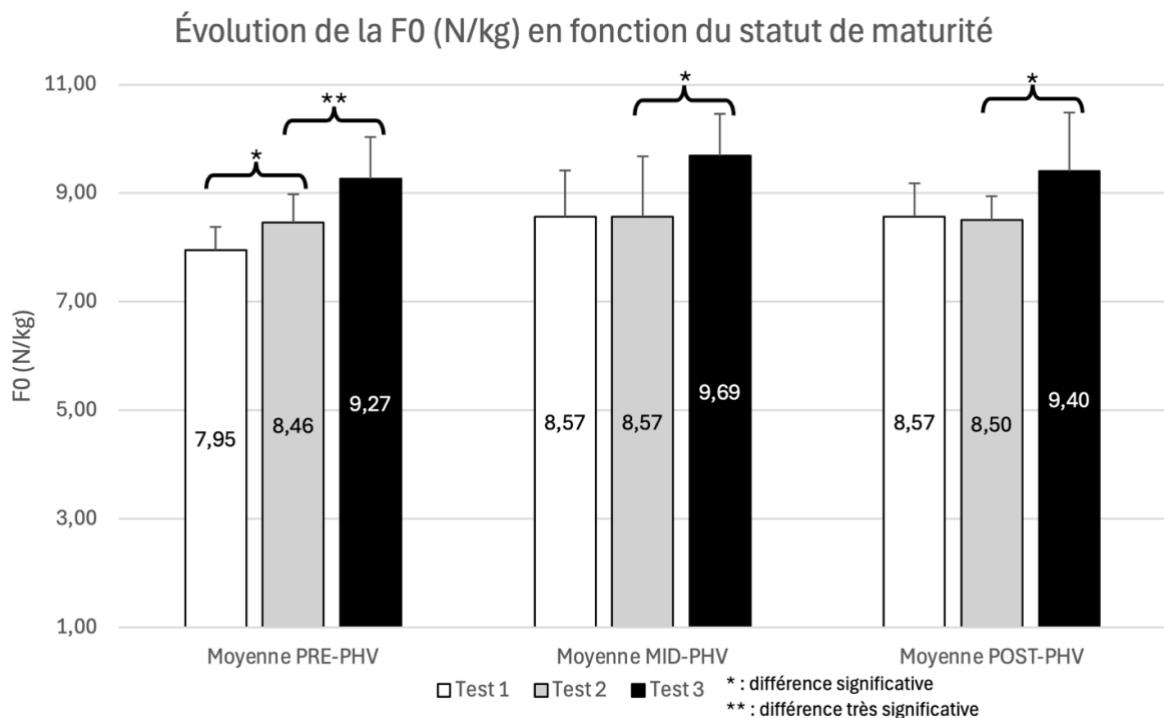


Figure 6 – Évolution de la F0 (N/kg) en fonction du statut de maturité.

Nous utilisons le test paramétrique ANOVA à 2 voies pour échantillons dépendants pour analyser les résultats de la Figure 6. Ce test nous montre qu'il n'y a pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) de force entre les 3 groupes (effet groupe). En revanche, le changement au cours des mesures (effet temps) est très significatif ( $p = 0,0001$ ). L'interaction groupes x répétitions n'est pas significative ( $p > 0,05$ ), l'évolution au sein des groupes est donc similaire.

Le test de student pour échantillons appariés nous montre une différence significative pour le groupe PRE-PHV entre le test 1 et le test 2 ( $p = 0,014$ ) avec une taille d'effet élevé ( $d = 1,09$ ) et une différence très significative entre le test 2 et le test 3 ( $p = 0,0005$ ) avec une taille d'effet très élevé ( $d = 1,25$ ).

Pour le groupe MID-PHV, nous n'observons pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre le test 1 et le test 2. En effet, nous pouvons observer que la F0 moyenne est restée à 8,57. Cependant, nous observons une différence significative entre le test 2 et le test 3 ( $p = 0,04$ ) avec une taille d'effet élevé ( $d = 1,00$ ). Enfin, pour le groupe POST-PHV, il n'y a pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre le test 1 et le test 2, nous pouvons même apercevoir une légère diminution. Toutefois, nous pouvons noter une différence significative entre le test 2 et test 3 ( $p = 0,013$ ) avec une taille d'effet très élevé ( $d = 1,21$ ).

Nous pouvons constater à travers les résultats de la Figure 6 que le statut de maturité PRE-PHV présente une plus grande amélioration de la F0 à la suite du protocole expérimental (test 2 à test 3) avec une taille d'effet très élevé ( $d = 1,25$ ). Il est aussi important de noter que ce groupe a connu une amélioration significative de la F0 durant la période contrôle (test 1 à test 2) avec une taille d'effet élevé ( $d = 1,09$ ).

## 5.2 La vitesse (30 mètres)

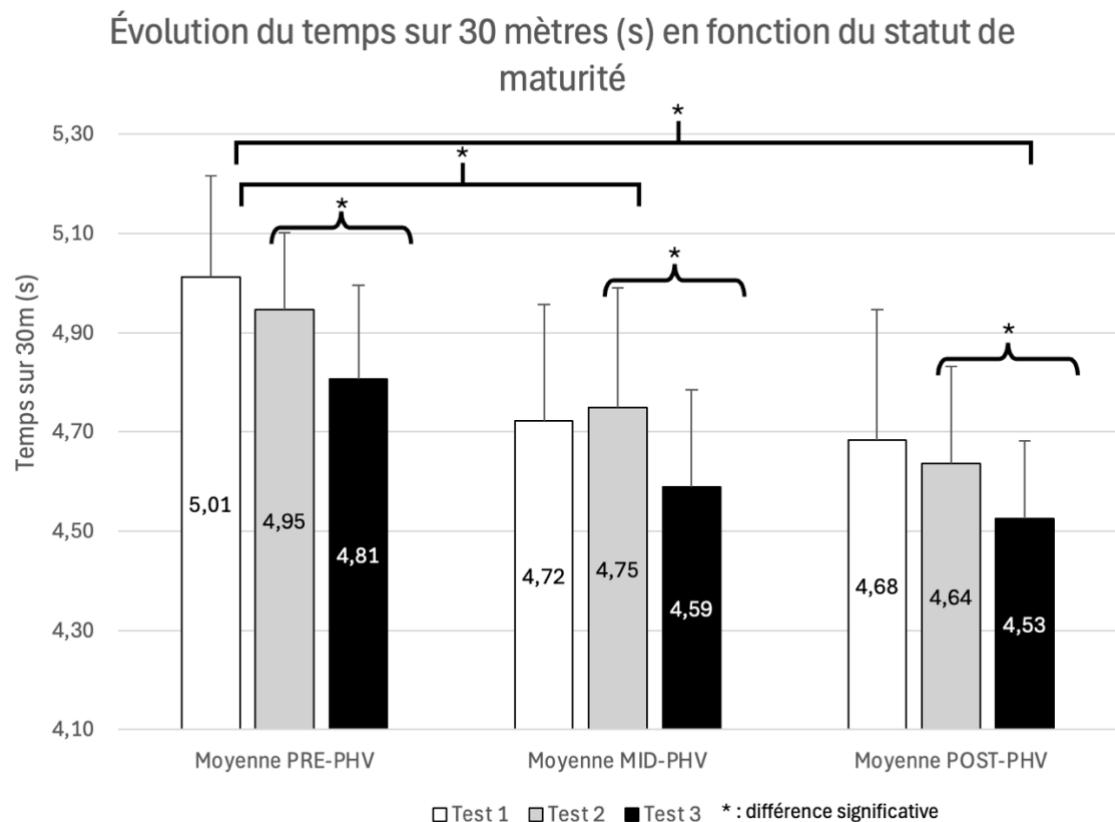


Figure 7 – Évolution du temps sur 30 mètres (s) en fonction du statut de maturité.

En ce qui concerne la vitesse (Figure 7), le test ANOVA nous montre qu'il y a une différence significative ( $p = 0,022$ ) de vitesse entre les 3 groupes (effet groupe). Le test de student pour échantillons non appariés nous confirme cela avec une différence significative entre le groupe PRE-PHV et MID-PHV ( $p = 0,029$ ) puis le groupe PRE-PHV et POST-PHV ( $p = 0,022$ ). Le changement au cours des mesures (effet temps) est très significatif ( $p = 0,0001$ ). L'interaction groupes x répétitions n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).

Le test de student pour échantillons appariés montre aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) concernant le groupe PRE-PHV entre le test 1 et le test 2, mais il met en avant une différence significative entre le test 2 et le test 3 ( $p = 0,016$ ) avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,95$ ). Pour le groupe MID-PHV, il n'y a pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre le test 1 et test 2, on remarque même une légère hausse du temps sur 30 mètres. Cependant, on observe une différence significative entre le test 2 et le test 3 ( $p = 0,011$ ) avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,81$ ). Enfin, pour le groupe POST-PHV, aucune différence significative n'est à noter entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ) mais une différence significative est présente entre le test 2 et le test 3 ( $p = 0,011$ ) avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,79$ ).

Nous pouvons constater ici que tous les statuts de maturité ont une amélioration significative de la vitesse à la suite du protocole expérimental (test 2 à test 3). Il est aussi judicieux de remarquer que le groupe PRE-PHV présente une nouvelle fois une taille d'effet plus élevé ( $d = 0,95$ ).

## 5.3 La puissance

### 5.3.1 Le CMJ

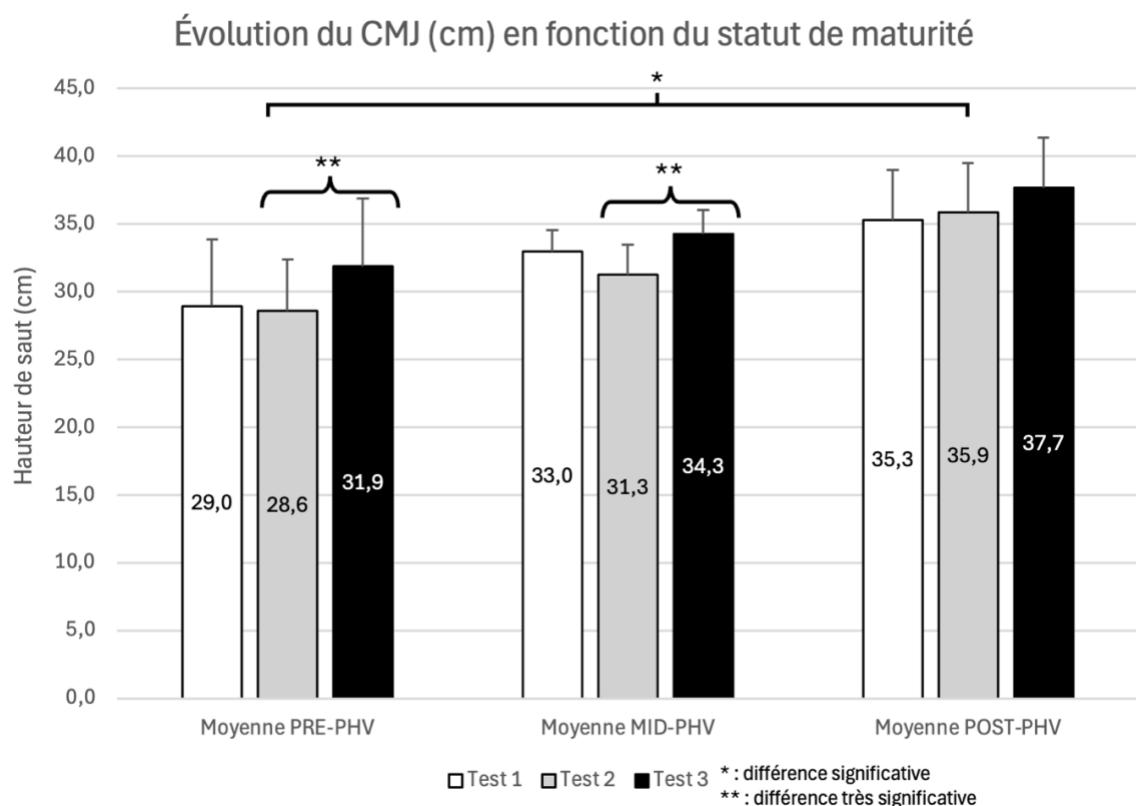


Figure 8 – Évolution du CMJ (cm) en fonction du statut de maturité.

Concernant le test du CMJ (Figure 8), le test ANOVA nous indique une différence très significative ( $p = 0,008$ ) entre les groupes (effet groupe). Le test de student pour échantillons non appariés confirme une différence significative ( $p = 0,018$ ) entre le groupe PRE-PHV et le groupe POST-PHV. Le changement au cours des mesures (effet temps) est très significatif ( $p = 0,0001$ ). L'interaction groupes x répétitions n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).

Le test de student pour échantillons appariés signale aucune différence significative pour le groupe PRE-PHV entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ), mais il démontre une différence très significative ( $p = 0,005$ ) entre le test 2 et le test 3 avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,93$ ). Pour le groupe MID-PHV, aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'est à noter entre le test 1 et le test 2. Une différence très significative ( $p = 0,009$ ) est présente entre le test 2 et le test 3 avec une taille d'effet élevé ( $d = 1,16$ ). Enfin, en ce qui concerne le groupe POST-PHV, nous avons aucune différence significative entre le test 1 et le test 2 puis le test 2 et le test 3.

On peut voir ici que seuls les groupes PRE-PHV et MID-PHV se sont améliorés à la suite du protocole expérimental (test 2 à test 3), avec une taille d'effet plus élevé pour le groupe MID-PHV ( $d = 1,16$ ).

### 5.3.2 Le Standing Broad Jump

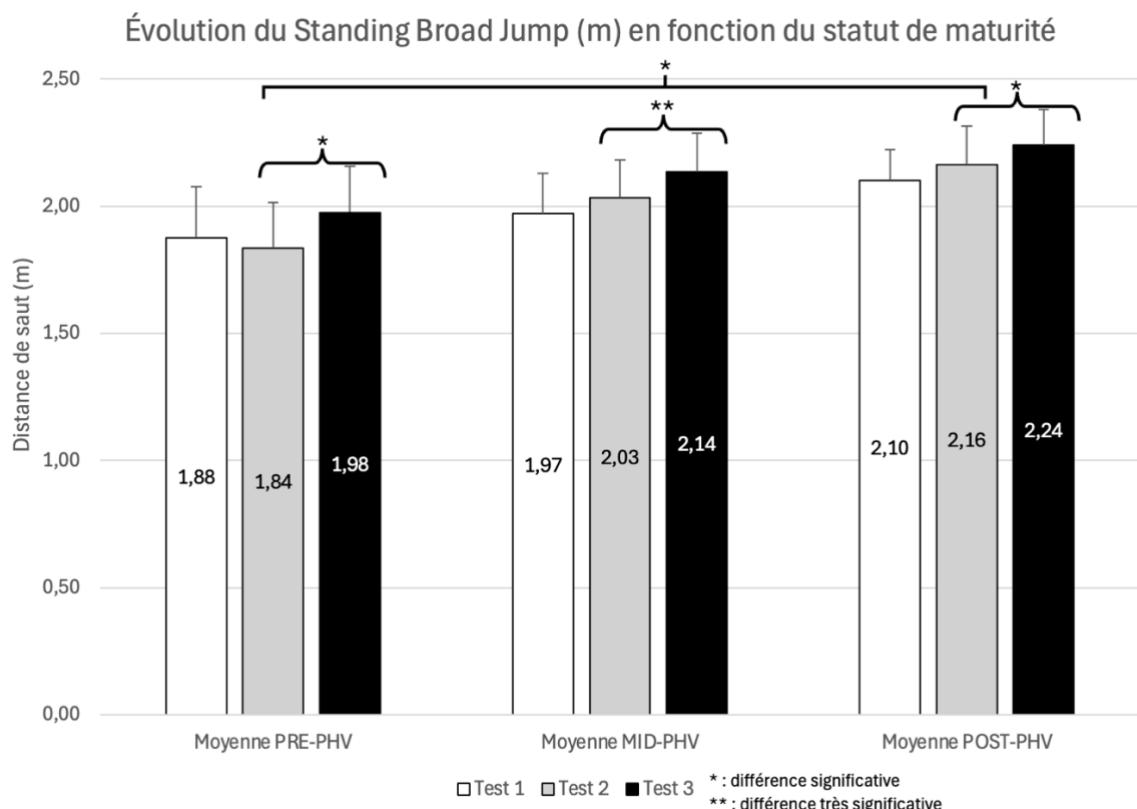


Figure 9 – Évolution du Standing Broad Jump (m) en fonction du statut de maturité.

Pour le standing broad jump (Figure 9), le test ANOVA nous indique une différence significative ( $p = 0,011$ ) entre les groupes (effet groupe). Le test de student pour échantillons non appariés valide une différence significative ( $p = 0,024$ ) entre le groupe PRE-PHV et POST-PHV. En ce qui concerne l'effet temps, on peut voir que le changement au cours des mesures est très significatif ( $p = 0,0001$ ). L'interaction groupes x répétitions n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).

Le test de student pour échantillons appariés n'indique pas de différence significative pour le groupe PRE-PHV entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ), on peut même observer une légère diminution de la distance de saut. Néanmoins, on observe une différence significative ( $p = 0,015$ ) entre le test 2 et le test

3 avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,87$ ). Pour le groupe MID-PHV, nous n'avons aucune différence significative entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ). Cependant, nous avons une différence très significative ( $p = 0,005$ ) entre le test 2 et le test 3 avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,84$ ). Pour finir, le groupe POST-PHV ne présente aucune différence significative entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ). Toutefois, nous pouvons remarquer une différence significative ( $p = 0,012$ ) entre le test 2 et le test 3 avec une taille d'effet moyen ( $d = 0,72$ ).

Nous pouvons voir sur le Figure 9 que cette fois-ci l'ensemble des groupes ont progressé à la suite du protocole expérimental (test 2 à test 3). À l'inverse des résultats précédents, cette amélioration est légèrement supérieure pour le groupe PRE-PHV avec une taille d'effet légèrement plus élevé ( $d = 0,87$ ).

### 5.3.3 Le Stiffness test (5 sauts répétés)

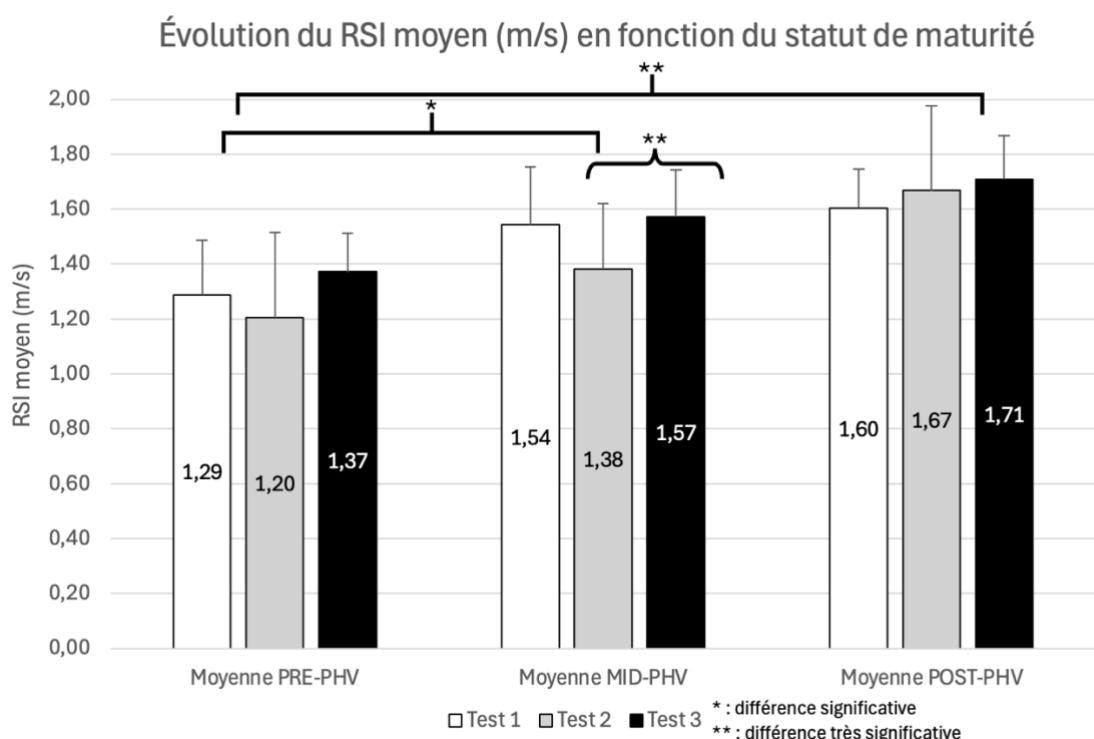


Figure 10 – Évolution du RSI moyen (m/s) en fonction du statut de maturité.

Pour le RSI moyen (Figure 10), le test ANOVA affiche une différence très significative ( $p = 0,005$ ) entre les groupes (effet groupe). Le test de student pour échantillons non appariés met en avant une différence significative ( $p = 0,04$ ) entre le groupe PRE-PHV et MID-PHV. Nous remarquons aussi une différence très significative ( $p = 0,005$ ) entre le groupe PRE-PHV et POST-PHV. Le changement au cours des mesures (effet temps) est significatif ( $p = 0,02$ ). L'interaction groupes x répétitions n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).

Le test de student pour échantillons appariés ne montre pas de différence significative pour le groupe PRE-PHV entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ), on peut même remarquer une légère diminution du RSI moyen. De même, il n'y a pas de différence significative entre le test 2 et test 3 ( $p > 0,05$ ). Concernant le groupe MID-PHV, aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'est à noter entre le test 1 et le test 2.

On peut la aussi remarquer une légère diminution du RSI moyen. Néanmoins, une différence très significative ( $p = 0,002$ ) est présente entre le test 2 et le test 3 avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,89$ ). Enfin, pour le groupe POST-PHV, aucune différence significative n'est à signaler entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ) puis le test 2 et le test 3 ( $p > 0,05$ ).

Nous pouvons apercevoir ici que seul le groupe MID-PHV s'est amélioré à la suite du protocole expérimental (test 2 à test 3) avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,89$ ).

#### 5.4 La coordination (Tapping 4 secondes)

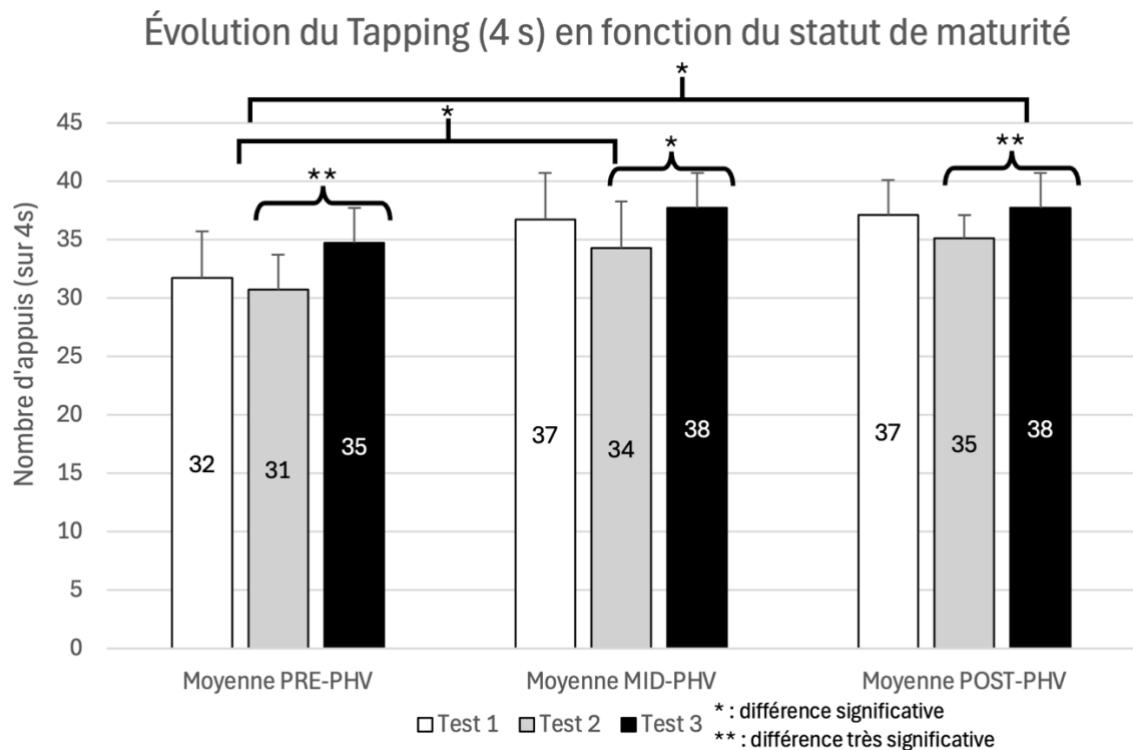


Figure 11 – Évolution du Tapping (4 s) en fonction du statut de maturité.

Pour le tapping 4 secondes (Figure 11), le test ANOVA mentionne une différence significative ( $p = 0,02$ ) entre les groupes (effet groupe). Le test de student pour échantillons non appariés montre une différence significative ( $p = 0,04$ ) entre le groupe PRE-PHV et MID-PHV. On peut aussi constater une différence significative ( $p = 0,02$ ) entre le groupe PRE-PHV et POST-PHV. Le changement au cours des mesures (effet temps) est très significatif ( $p = 0,0001$ ). L'interaction groupes x répétitions n'est pas significative ( $p > 0,05$ ).

Le test de student pour échantillons appariés ne montre pas de différence significative pour le groupe PRE-PHV entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ). On peut même constater une très légère diminution du nombre d'appuis sur 4 secondes entre le test 1 et test 2. Néanmoins, nous pouvons apercevoir une différence très significative ( $p = 0,003$ ) entre le test 2 et le test 3 avec une taille d'effet très élevé ( $d = 1,22$ ). Pour le groupe MID-PHV, aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'est à constater entre le test 1 et le test 2. Nous pouvons aussi remarquer une légère diminution du nombre d'appuis sur 4 secondes. Cependant, une différence significative ( $p = 0,012$ ) est à relever entre le test 2 et le test 3 avec une taille

d'effet élevé ( $d = 0,98$ ). Enfin, pour le groupe POST-PHV, aucune différence significative n'est à signaler entre le test 1 et le test 2 ( $p > 0,05$ ). Nous pouvons une nouvelle fois observer une légère diminution du nombre d'appuis sur 4 secondes. Toutefois, une différence très significative ( $p = 0,004$ ) est à mentionner entre le test 2 et le test 3 avec une taille d'effet élevé ( $d = 1,03$ ).

Nous pouvons remarquer à travers la Figure 11 que tous les groupes se sont améliorés à la suite du protocole expérimental (test 2 à test 3). Cette amélioration est plus importante pour le groupe PRE-PHV avec une taille d'effet très élevé ( $d = 1,22$ ).

## 6. Discussion

### 6.1 Interprétation

L'objectif de cette étude était double. Le premier était de vérifier qu'un entraînement neuromusculaire de 5 semaines a des effets sur le développement des qualités athlétiques en fonction du statut de maturité chez des jeunes joueurs de football élite. Le deuxième objectif était de vérifier si cet entraînement neuromusculaire a plus d'effets sur le développement des qualités athlétiques selon un statut de maturité. Au regard de notre revue de littérature et de notre protocole, nous avons émis plusieurs hypothèses. Les hypothèses ont été validées ou non en fonction de la valeur de  $p$ .  $H_0$  : l'entraînement neuromusculaire ne va pas améliorer les qualités athlétiques sur tous les statuts de maturité. Cette hypothèse n'est validée pour aucun test.  $H_1$  : l'entraînement neuromusculaire va améliorer les qualités athlétiques sur au moins un statut de maturité. Cette hypothèse est validée sur tous les tests.  $H_2$  : l'entraînement neuromusculaire va davantage améliorer les qualités athlétiques sur le statut de maturité PRE-PHV. Cette hypothèse est validée pour la force ( $F_0$  en N/kg), la vitesse (temps sur 30m), la puissance (uniquement le standing broad jump) et la coordination (tapping 4s).

En ce qui concerne la force ( $F_0$  en N/kg), nous n'observons aucune différence significative entre les groupes. Nous pouvons observer graphiquement (Figure 6) que celle-ci est plus élevée à mesure que la maturité est avancée comme le signale l'étude de Guimarães et al. (2019). Ici, elle est même légèrement plus élevée pour le groupe MID-PHV. A la suite du protocole (test 2 à test 3), tous les statuts de maturité ont connu une amélioration significative de leur force. Cette amélioration est très significative et plus importante pour le groupe PRE-PHV (taille d'effet très élevé :  $d = 1,25$ ) qui passe d'une moyenne de 8,46 N/kg à une moyenne de 9,27 N/kg. Ces résultats sont en concordance avec l'étude réalisée par Rodríguez-Rosell et al. (2017) et celle de Peña-González et al. (2019) qui montrent une amélioration plus élevée de la force chez le groupe PRE-PHV. Il est judicieux de préciser que dans ces études, la force a été évaluée sur un squat et non sur un sprint. Dans notre étude, il est important de constater que ce groupe (PRE-PHV) a connu une amélioration significative de la  $F_0$  durant la période contrôle (test 1 à test 2) avec une taille d'effet élevé ( $d = 1,09$ ). Cela montre que malgré leur statut de maturité « en

retard », leur force s'améliore tout de même grâce à la pratique du football et sans programme d'entraînement spécifique. L'étude de Peña-González et al. (2019) explique que : « les améliorations de la performance physique des jeunes joueurs ne sont pas seulement dues à la prescription de l'entraînement en force, mais aussi au développement naturel des jeunes ». Aussi, « cette amélioration dépendrait des niveaux de force initiaux des joueurs » (Rodríguez-Rosell et al., 2017).

Pour la vitesse (temps sur 30m), nous observons cette fois-ci une différence significative (Figure 7) entre le groupe PRE-PHV et MID-PHV ainsi que le groupe PRE-PHV et POST-PHV. Cette différence est une nouvelle fois expliquée par l'étude de Guimarães et al. (2019) qui montre que les joueurs à maturité précoce ont tendance à surpasser leurs homologues moins matures sur les tests de vitesse, de puissance et de force. L'étude de Fernández-Galván et al. (2022) souligne également ceci. À la suite du protocole expérimental, tous les statuts de maturité ont connu une amélioration significative de la vitesse. Une nouvelle fois, le groupe PRE-PHV présente une taille d'effet plus élevé ( $d = 0,95$ ) passant d'une moyenne de 4,95 secondes à une moyenne de 4,81 secondes. Ces résultats sont en accord avec l'étude de Chen et al. (2024) ainsi que l'étude de Panagoulis et al. (2020) qui ont observé une amélioration plus importante du temps sur 20m chez le statut de maturité PRE-PHV. L'étude de Peña-González et al. (2019) mentionnée ci-dessus confirme cela car elle a aussi remarqué une amélioration supérieure du temps sur 30m pour le groupe PRE-PHV. L'étude de Chen et al. (2024) explique ces résultats en disant que « pendant les étapes PRE-PHV et MID-PHV, le système nerveux est toujours en développement, et il y a une plus grande capacité de coordination neuromusculaire et d'apprentissage des compétences motrices. Ce type d'entraînement stimule le système nerveux, améliore la coordination neuromusculaire et les compétences motrices, améliorant ainsi les performances de sprint ».

Concernant la puissance, nous pouvons apercevoir (Figure 8) une différence significative sur le CMJ entre le groupe PRE-PHV et POST-PHV (Guimarães et al., 2019). De plus, à la suite du protocole expérimental, une amélioration très significative du CMJ est présente pour les groupes PRE-PHV et MID-PHV avec une taille d'effet plus élevé pour le groupe MID-PHV ( $d = 1,16$ ) qui passe d'une moyenne de 31,3cm à 34,3cm. Pour le standing broad jump (Figure 9), nous avons aussi une différence significative entre le groupe PRE-PHV et POST-PHV. Ici, tous les groupes se sont améliorés à la suite du protocole expérimental. Contrairement aux résultats précédents, cette amélioration est légèrement supérieure pour le groupe PRE-PHV avec une taille d'effet légèrement plus élevé ( $d = 0,87$ ) qui passe d'une moyenne de 1,84m à 1,98m. Enfin, pour le RSI moyen (Figure 10), nous remarquons une différence très significative entre le groupe PRE-PHV et POST-PHV et une différence significative entre le groupe PRE-PHV et MID-PHV. Sur ce test, seul le groupe MID-PHV a connu une différence très significative à la suite du protocole expérimental avec une taille d'effet élevé ( $d = 0,89$ ) passant d'une moyenne de 1,38 m/s à 1,57 m/s. Pour le CMJ, ces résultats se rapprochent de l'étude de Rodríguez-

Rosell et al. (2017) qui ont pu constater une amélioration plus importante chez les groupes PRE-PHV et MID-PHV. Pour le standing broad jump, la méta-analyse réalisée par Oliver et al. (2024) met avant une amélioration de la puissance horizontale (saut horizontal) à la suite d'un entraînement en force, en pliométrie et combiné. En revanche, aucune comparaison n'est faite par rapport aux statuts de maturité. Pour notre part, comme dans l'étude de Rodríguez-Rosell et al. (2017), nous pouvons constater que cette amélioration diminue à mesure que la maturité avance. Pour finir, en ce qui concerne le RSI, l'étude de Liu et al. (2024) a elle aussi pu remarquer une amélioration significative après un entraînement pliométrique par microdosage. Cependant, comme pour le broad jump, cette étude ne fait pas de lien avec un statut de maturité particulier même si l'âge des sujets étudiés laisse penser qu'ils sont bien avancés dans leur maturité. De manière générale, l'étude de Deprez et al. (2015), explique une amélioration plus importante de la puissance chez les groupes PRE-PHV et MID-PHV par « le résultat d'adaptations neuronales qui sont plus efficaces au cours de cette période ».

Enfin, à propos de la coordination (tapping 4s), nous pouvons constater à travers la Figure 11 une différence significative entre les groupes PRE-PHV et MID-PHV ainsi que les groupes PRE-PHV et POST-PHV. En effet, l'étude de Deprez et al. (2015) met en avant cette différence en disant que la performance motrice (coordination) augmente avec l'âge chronologique. Sur cette même figure, nous pouvons également voir que tous les groupes se sont améliorés à la suite du protocole expérimental. Cette amélioration est plus importante pour le groupe PRE-PHV avec une taille d'effet très élevé ( $d = 1,22$ ) qui passe d'une moyenne de 31 à 35 appuis. Les résultats de notre étude sont similaires à ceux de l'étude de Trajković et Bogataj (2020) qui s'est intéressée aux effets d'un entraînement neuromusculaire (NMT) de 8 semaines sur la compétence motrice et la performance physique chez des joueuses de volley-ball de 10 à 12 ans. Cette étude a montré que l'entraînement neuromusculaire a contribué à une amélioration significative de la coordination chez les jeunes joueuses de volley-ball. Les auteurs expliquent que cette amélioration était attendue car leur programme neuromusculaire comprenait beaucoup de mouvements qui étaient présents dans leur test pour évaluer la coordination (KTK). À ma connaissance, très peu d'études ont évalué la coordination à la suite d'un entraînement neuromusculaire et encore moins chez des jeunes joueurs de football élite. Selon Akbar et al. (2022), les effets de l'entraînement neuromusculaire sur d'autres composantes de la forme physique, comme la coordination, devraient être étudiés davantage.

## 6.2 Limites

Cette étude présente quelques limites. Dans un premier temps, nous pouvons évoquer la détermination de la maturité avec la méthode de Mirwald et al. (2002) qui a été remise en cause dans la littérature. Toutefois, réaliser une radiographie du poignet pour chaque joueur s'avère extrêmement complexe, voire irréalisable, pour être plus précis dans la répartition des différents statuts. Dans un

second temps, nous pouvons parler de la motivation et de l'état de forme physique des joueurs qui ont pu varier au cours des différentes phases de tests et ainsi influencer les résultats. Nous pouvons aussi évoquer le nombre de sujets dans chaque groupe de maturité qui était de 7. Nous avions donc un total de 21 joueurs répartis en 3 groupes. Un nombre de sujets plus important aurait permis de faire des comparaisons encore plus précises. Enfin, nous pouvons également aborder le contrôle des charges d'entraînement spécifiques au football. En effet, les joueurs ont assisté à leurs entraînements de football avec leur catégorie respective (U14, U15 ou U17 Nationaux) et des différences entre les charges d'entraînement peuvent apparaître.

### **6.3 Applications sur le terrain**

L'ajout d'un entraînement neuromusculaire de 15 à 20 minutes à l'entraînement de football traditionnel peut améliorer la performance des jeunes joueurs en ce qui concerne la force musculaire, la vitesse, la puissance musculaire et la coordination. Cet entraînement neuromusculaire était composé d'exercices au poids du corps comprenant des sauts (verticaux et horizontaux), des sprints et un travail d'appuis (échelle de rythme). En fonction de l'ampleur de l'amélioration produite, il pourrait être utilisé probablement comme précurseur de l'entraînement par résistance, de l'entraînement pliométrique et d'autres méthodes d'entraînement neuromusculaire.

### **6.4 Perspectives**

Il serait pertinent d'allonger la durée du protocole et le nombre de séances par semaine afin d'observer les adaptations qui se produisent à long terme. De plus, il serait aussi intéressant de faire varier les exercices en fonction du matériel disponible, en appliquant une surcharge progressive chaque semaine à travers l'ajustement des variables de l'entraînement. Enfin, nous pourrions comparer nos résultats à des joueurs évoluant dans des clubs amateurs afin d'identifier les écarts de performance liés au niveau de pratique.

## **7. Conclusion**

Pour conclure, nous pouvons répondre à la problématique de cette étude : « Sur quel statut de maturité l'entraînement neuromusculaire va avoir le plus d'effets pour développer les qualités athlétiques ? ». En effet, nos résultats ont démontré qu'un entraînement neuromusculaire pouvait améliorer les qualités athlétiques chez les jeunes joueurs de football élite et que c'était le statut de maturité PRE-PHV qui était le plus sensible à ces améliorations. Ainsi, il serait intéressant de mettre en place ce type d'entraînement pour répondre aux besoins individuels des jeunes athlètes de football en fonction de leur statut de maturité. Selon Lloyd et al. (2016), il semble que les jeunes athlètes à maturité « en retard » aient besoin d'une charge d'entraînement plus faible pour obtenir des améliorations de leurs performances athlétiques, alors que la charge d'entraînement devrait être progressivement augmentée avec l'âge chronologique ou le statut de maturité pour permettre ces améliorations.

## 8. Bibliographie

Akbar, S., Soh, K. G., Jazaily Mohd Nasiruddin, N., Bashir, M., Cao, S., & Soh, K. L. (2022). Effects of neuromuscular training on athletes physical fitness in sports: A systematic review. *Frontiers in physiology*, 13, 939042. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.939042>

Al Haddad, H., Simpson, B. M., Buchheit, M., Di Salvo, V., & Mendez-Villanueva, A. (2015). Peak match speed and maximal sprinting speed in young soccer players: effect of age and playing position. *International journal of sports physiology and performance*, 10(7), 888–896. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2014-0539>

Carling, C., le Gall, F., Reilly, T., & Williams, A. M. (2009). Do anthropometric and fitness characteristics vary according to birth date distribution in elite youth academy soccer players? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 19(1), 3–9. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00867.x>

Carminati, Y., & Di Salvo, V. (2003). L'allenamento della velocità nel calciatore. *Calzetti Mariucci*.

Chaabouni, S., Methnani, R., Al Hadabi, B., Al Busafi, M., Al Kitani, M., Al Jadidi, K., Samozino, P., Moalla, W., & Gmada, N. (2022). A Simple Field Tapping Test for Evaluating Frequency Qualities of the Lower Limb Neuromuscular System in Soccer Players: A Validity and Reliability Study. *International journal of environmental research and public health*, 19(7), 3792. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073792>

Chelly, M. S., Fathloun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z., & Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 23(8), 2241–2249. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b86c40>

Chen, L., Yan, R., Xie, L., Zhang, Z., Zhang, W., & Wang, H. (2024). Maturation-specific enhancements in lower extremity explosive strength following plyometric training in adolescent soccer players: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 10(12), e33063. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33063>

Clemente, F. M., Clark, C. C. T., Leão, C., Silva, A. F., Lima, R., Sarmento, H., Figueiredo, A. J., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). Exploring Relationships Between Anthropometry, Body Composition, Maturation, and Selection for Competition: A Study in Youth Soccer Players. *Frontiers in physiology*, 12, 651735. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.651735>

De Barros Sousa, F. A., Henrique Marinho, A., da Silva Calvalcante, M. D., de Almeida Rodrigues, N., Silva Lima, T., Gilo da Silva, D., ... Gomes de Araujo, G. (2024). Running sprint force-velocity-power profile obtained with a low-cost and low frame rate acquisition video technique: reliability and concurrent validity. *Sports Biomechanics*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/14763141.2024.2374882>

Dellal, A. (2020). *La Prépa Physique Football : une saison de vivacité*. 4Trainer Éditions.

Deprez, D., Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., Lenoir, M., Philippaerts, R., & Vaeyens, R. (2015). Longitudinal Development of Explosive Leg Power from Childhood to Adulthood in Soccer Players. *International journal of sports medicine*, 36(8), 672–679. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398577>

Díaz-Hidalgo, S., Ranchal-Sánchez, A., & Jurado-Castro, J. M. (2024). Improvements in Jump Height, Speed, and Quality of Life through an 8-Week Strength Program in Male Adolescents Soccer Players. *Sports (Basel, Switzerland)*, 12(3), 67. <https://doi.org/10.3390/sports12030067>

Dufour, M. (2009). *Les diamants neuromusculaires, les qualités physique, Tome 1 : l'explosivité et la puissance musculaire*. Aigle, Suisse : Edition Volodalen.

Fernández-Galván, L. M., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peña, V., & Casado, A. (2022). Sprint Performance and Mechanical Force-Velocity Profile among Different Maturational Stages in Young Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 19(3), 1412. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031412>

Fort-Vanmeerhaeghe A., Romero-Rodriguez D., Montalvo A. M., Kiefer A. W., Lloyd R. S., Myer G. D. (2016). Integrative neuromuscular training and injury prevention in youth athletes. Part I: Identifying risk factors. *Strength Cond. J.* 38 (3), 36–48. 10.1519/ssc.0000000000000229 [DOI] [Google Scholar]

Gabbett T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder?. *British journal of sports medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>

Guimarães, E., Ramos, A., Janeira, M. A., Baxter-Jones, A. D. G., & Maia, J. (2019). How Does Biological Maturation and Training Experience Impact the Physical and Technical Performance of 11-14-Year-Old Male Basketball Players?. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(12), 243. <https://doi.org/10.3390/sports7120243>

Hammami, M., Negra, Y., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2017). The Effect of Standard Strength vs. Contrast Strength Training on the Development of Sprint, Agility, Repeated Change of Direction, and Jump in Junior Male Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 31(4), 901–912. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001815>

Iddir, I., & Azzouzi, M. (2023). Les capacités de coordination motrice dans l'entraînement et la sélection du jeune footballeur Algérien. *Revue Académique des Etudes Sociales et Humaines Vol*, 15(01), 608-617. [Google Scholar]

Kelly A.L., Wilson M.R., Gough L.A., Knapman H., Morgan P., Cole M., Jackson D.T., Williams C.A. A Longitudinal Investigation into the Relative Age Effect in an English Professional Football Club: Exploring the ‘Underdog Hypothesis’. *Sci. Med. Footb.* 2020;4:111–118. doi: 10.1080/24733938.2019.1694169. [DOI] [Google Scholar]

Kobal, R., Loturco, I., Barroso, R., Gil, S., Cuniyochi, R., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., & Tricoli, V. (2017). Effects of Different Combinations of Strength, Power, and Plyometric Training on the Physical Performance of Elite Young Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 31(6), 1468–1476. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001609>

Liu, G., Wang, X., & Xu, Q. (2024). Microdosing Plyometric Training Enhances Jumping Performance, Reactive Strength Index, and Acceleration among Youth Soccer Players: A Randomized Controlled Study Design. *Journal of sports science & medicine*, 23(2), 342–350. <https://doi.org/10.52082/jssm.2024.342>

Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2009). Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of sports sciences*, 27(14), 1565-1573. [Google Scholar]

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>

Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Croix, M. B., Cronin, J. B., & Oliver, J. L. (2016). Changes in Sprint and Jump Performances After Traditional, Plyometric, and Combined Resistance Training in Male Youth Pre- and Post-Peak Height Velocity. *Journal of strength and conditioning research*, 30(5), 1239–1247. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001216>

Malina, R. M. (2004). Growth, maturation, and physical activity. *Human kinetics*. [Google Scholar]

Matin B. K., Yalfani A., Gandomi F., Abbasi H., Parmoon A. (2014). Neuromuscular Training as the basis for developing the level of the static and dynamic balance in selected students of physical fitness team of Kermanshah. *Int. J. Sports Sci. Fit.* 4 (1), 20–38. [Google Scholar]

McKinlay, B. J., Wallace, P., Dotan, R., Long, D., Tokuno, C., Gabriel, D. A., & Falk, B. (2018). Effects of Plyometric and Resistance Training on Muscle Strength, Explosiveness, and Neuromuscular Function in Young Adolescent Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 32(11), 3039–3050. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002428>

McLeod, T. C., Armstrong, T., Miller, M., & Sauers, J. L. (2009). Balance improvements in female high school basketball players after a 6-week neuromuscular-training program. *Journal of sport rehabilitation*, 18(4), 465–481. <https://doi.org/10.1123/jsr.18.4.465>

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>

Morin, J. B. (2022). Applications smartphones pour l'analyse de la performance : un laboratoire dans votre poche. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, 118(4), 61-68. <https://doi.org/10.1051/sm/2021023>

Murtagh, C. F., Brownlee, T. E., O'Boyle, A., Morgans, R., Drust, B., & Erskine, R. M. (2018). Importance of Speed and Power in Elite Youth Soccer Depends on Maturation Status. *Journal of strength and conditioning research*, 32(2), 297–303. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002367>

Myburgh, G. K., Cumming, S. P., Coelho-E-Silva, M., & Malina, R. M. (2020). Developmental fitness curves: assessing sprint acceleration relative to age and maturity status in elite junior tennis players. *Annals of human biology*, 47(4), 336–345. <https://doi.org/10.1080/03014460.2020.1781250>

Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth?. *Current sports medicine reports*, 10(3), 155–166. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821b1442>

Oliver, J. L., Ramachandran, A. K., Singh, U., Ramirez-Campillo, R., & Lloyd, R. S. (2024). The Effects of Strength, Plyometric and Combined Training on Strength, Power and Speed Characteristics in High-Level, Highly Trained Male Youth Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 54(3), 623–643. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01944-8>

Panagoulis, C., Chatzinikolaou, A., Avloniti, A., Leontsini, D., Deli, C. K., Draganidis, D., Stampoulis, T., Oikonomou, T., Papanikolaou, K., Rafailakis, L., Kambas, A., Jamurtas, A. Z., & Fatouros, I. G. (2020). In-Season Integrative Neuromuscular Strength Training Improves Performance of Early-Adolescent Soccer Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 34(2), 516–526. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002938>

Peña-González, I., Fernández-Fernández, J., Moya-Ramón, M., & Cervelló, E. (2018). Relative Age Effect, Biological Maturation, and Coaches' Efficacy Expectations in Young Male Soccer Players. *Research quarterly for exercise and sport*, 89(3), 373–379. <https://doi.org/10.1080/02701367.2018.1486003>

Peña-González, I., Fernández-Fernández, J., Cervelló, E., & Moya-Ramón, M. (2019). Effect of biological maturation on strength-related adaptations in young soccer players. *PloS one*, 14(7), e0219355. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355>

Philippaerts, R. M., Vaeysens, 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>

Quideçon, É. (2020). Intérêt des programmes d'entraînement neuromusculaire dans la prévention des blessures de genou chez le sportif. [\[HAL open science\]](#)

Radnor, J. M., Staines, J., Bevan, J., Cumming, S. P., Kelly, A. L., Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2021). Maturity Has a Greater Association than Relative Age with Physical Performance in English Male Academy Soccer Players. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(12), 171. <https://doi.org/10.3390/sports9120171>

Reiss, D., & Prévost, P. (2021). *La Nouvelle bible de la préparation physique*. Amphora.

Rodríguez-Rosell, D., Franco-Márquez, F., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Effect of High-Speed Strength Training on Physical Performance in Young Soccer Players of Different Ages. *Journal of strength and conditioning research*, 31(9), 2498–2508. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001706>

Silva, J. R., Nassis, G. P., & Rebelo, A. (2015). Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports medicine - open*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0006-z>

Trajković, N., & Bogataj, Š. (2020). Effects of Neuromuscular Training on Motor Competence and Physical Performance in Young Female Volleyball Players. *International journal of environmental research and public health*, 17(5), 1755. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051755>

Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., & Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *International journal of sports medicine*, 31(05), 304-310. [\[ResearchGate\]](#)

Vigne, G. (2011). *Détermination et variation du profil physique du footballeur de très haut niveau : référence spéciale aux performances athlétiques selon les différents postes de jeu orientant sur la validation d'un test d'agilité* (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I). [\[HAL open science\]](#)

Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(11), 1279–1286. [\[PubMed\]](#)

## 9. Annexes

### Annexe 1 : Méthode de Mirwald et al. (2002).

<sup>1</sup> Mirwald, R.L., Baxter-Jones, A.D.G., Bailey, D.A., Beunen G.P. An assessment of maturity from anthropometric measurements. Medicine and Science in Sports and Exercise 2002; 34(4): 689-694.

Gender  Male  Female

Date of Birth:

  
(mm/dd/yyyy)

Date of Test:

  
(mm/dd/yyyy)

Height:   cm  inches  
(e.g. 170.5 cm or 67.1 inches)

Sitting Height:   cm  inches  
(e.g. 82.3 cm or 32.4 inches)

Weight:   kg  pounds  
(e.g. 60.3 kg or 132.7 lbs)

**Calculate APHV** **Clear** **Home**

### Annexe 2 : Échauffement FIFA 11+.

**1<sup>RE</sup> PARTIE EXERCICES DE COURSE - 8 MINUTES**

**11+**

**2<sup>ME</sup> PARTIE FORCE - PLIOMÉTRIE - ÉQUILIBRE - 10 MINUTES**

**3<sup>ME</sup> PARTIE EXERCICES DE COURSE - 2 MINUTES**



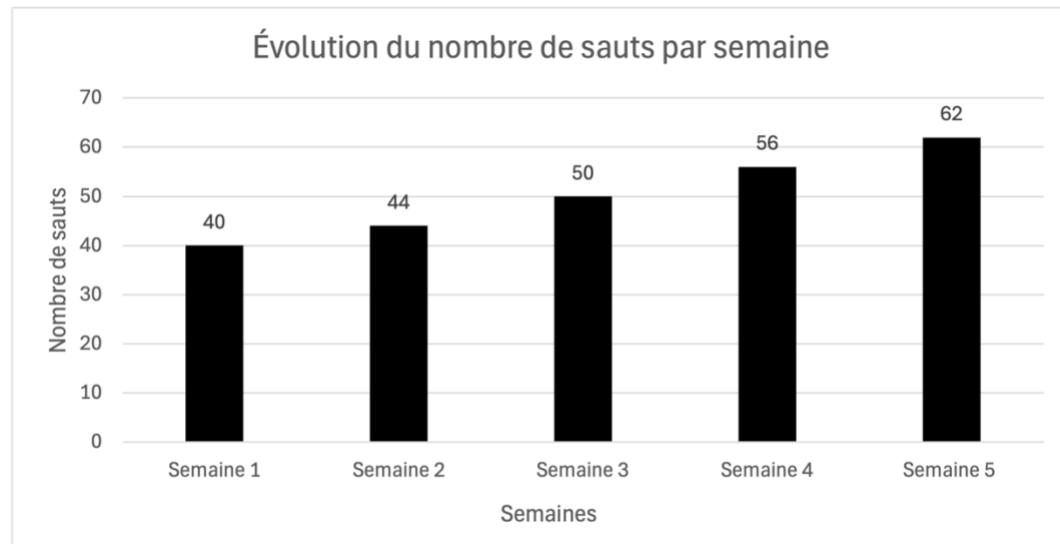




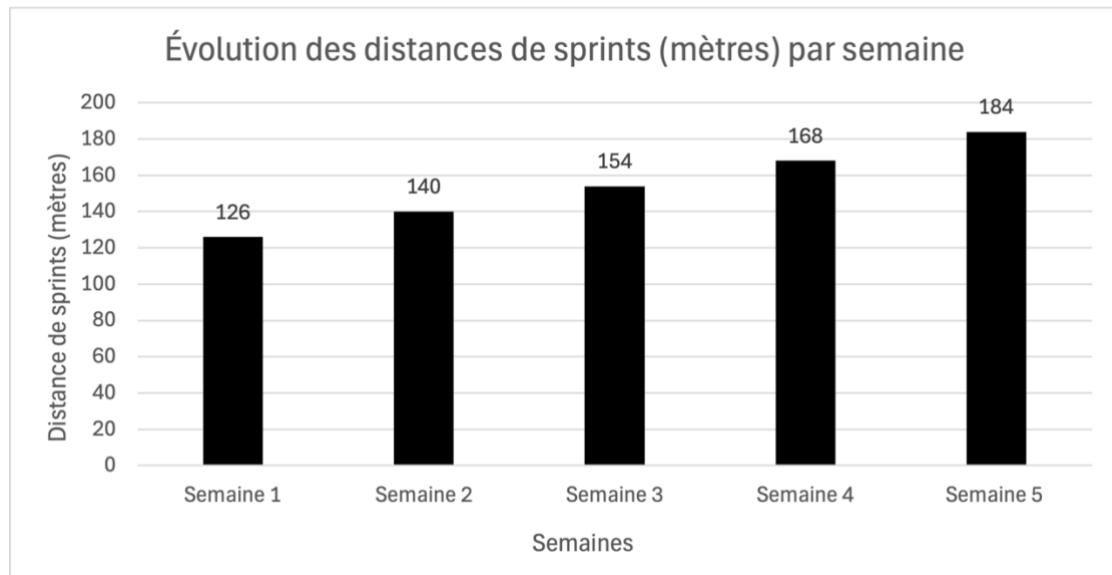
### Annexe 3 : Programme d'entraînement neuromusculaire.

Semaines	Exercices	Nombre de séances par semaine	Distance de sprints (en mètres) par semaine	Nombre de sauts par semaine	Passages sur échelle de rythme par semaine
Semaine 1	Échelle de rythme : 2 passages par joueur 4 bonds horizontaux bilatéraux + 3 bonds horizontaux unilatéraux sur chaque jambe + sprint de 10 mètres 10 squats jump + un sprint de 18 mètres Course navette sur 25 mètres aller + 5 mètres retour + 5 mètres aller	2	126	40	4
Semaine 2	Échelle de rythme : 3 passages par joueur 5 bonds horizontaux bilatéraux + 3 bonds horizontaux unilatéraux sur chaque jambe + sprint de 11 mètres 11 squats jump + un sprint de 20 mètres Course navette sur 27 mètres aller + 6 mètres retour + 6 mètres aller	2	140	44	6
Semaine 3	Échelle de rythme : 4 passages par joueur 5 bonds horizontaux bilatéraux + 4 bonds horizontaux unilatéraux sur chaque jambe + sprint de 12 mètres 12 squats jump + un sprint de 22 mètres Course navette sur 29 mètres aller + 7 mètres retour + 7 mètres aller	2	154	50	8
Semaine 4	Échelle de rythme : 5 passages par joueur 6 bonds horizontaux bilatéraux + 4 bonds horizontaux unilatéraux sur chaque jambe + sprint de 13 mètres 14 squats jump + un sprint de 24 mètres Course navette sur 31 mètres aller + 8 mètres retour + 8 mètres aller	2	168	56	10
Semaine 5	Échelle de rythme : 6 passages par joueur 6 bonds horizontaux bilatéraux + 5 bonds horizontaux unilatéraux sur chaque jambe + sprint de 13 mètres 15 squats jump + un sprint de 28 mètres Course navette sur 35 mètres aller + 8 mètres retour + 8 mètres aller	2	184	62	12

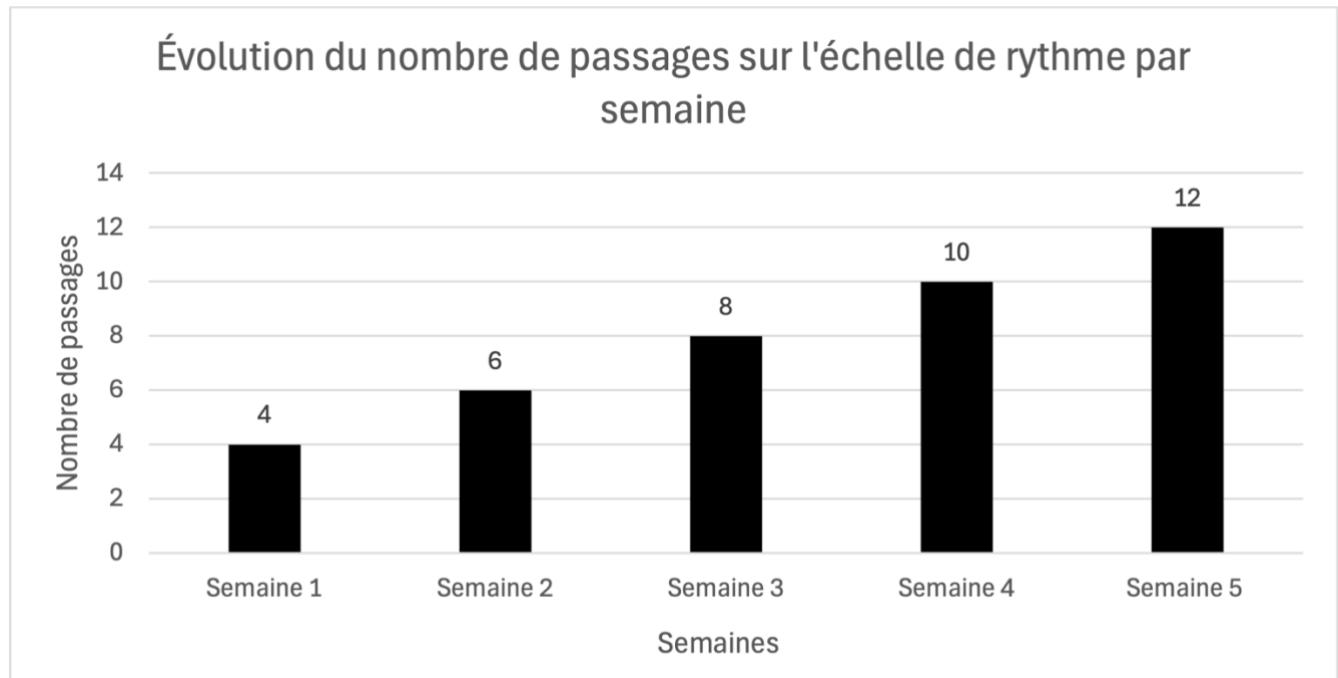
### Annexe 4 : Histogramme représentant l'évolution du nombre de sauts par semaine.



Annexe 5 : Histogramme représentant l'évolution des distances de sprints par semaine.



Annexe 6 : Histogramme représentant l'évolution du nombre de passages sur l'échelle de rythme par semaine.



## 10. Résumés français et anglais, mots clés

### 10.1 Résumé français

**Objectifs :** Le but de cette étude était de vérifier qu'un entraînement neuromusculaire a des effets sur le développement des qualités athlétiques en fonction du statut de maturité chez des jeunes joueurs de football élite, et de déterminer si ce type d'entraînement a plus d'effets chez un statut de maturité.

**Matériels et méthodes :** On compte 21 sujets (n = 21) pour cette étude. Nous avons 7 joueurs dans chaque statut de maturité (PRE-PHV, MID-PHV, POST-PHV). Durant cette étude, tous les joueurs ont participé à une période contrôle de 5 semaines et une période expérimentale de 5 semaines. Ces 2 périodes se succédaient. Durant la période contrôle, tous les joueurs ont effectué leurs entraînements de football (5 fois par semaine) plus leur match du week-end. Pendant la période expérimentale, un entraînement neuromusculaire de 15 à 20 minutes était ajouté à leurs entraînements de football. Cet entraînement s'effectuait à raison de 2 séances par semaine durant 5 semaines. Les qualités athlétiques évaluées étaient la force (F0 en N/kg), la vitesse (temps sur 30m), la puissance (CMJ, Standing Broad Jump, RSI) et la coordination (tapping 4s). Elles ont été évaluées avant le début de la période contrôle (Test 1), à la fin de période contrôle (Test 2) et à la fin de la période expérimentale (Test 3).

**Résultats :** À la suite du protocole expérimental, tous les statuts de maturité ont connu une amélioration significative de leur force et de leur vitesse. Concernant la puissance, seuls les statuts PRE-PHV et MID-PHV ont connu une amélioration significative sur le CMJ. Tous les statuts ont connu une amélioration significative sur le Standing Broad Jump et seul le statut MID-PHV a connu une amélioration significative du RSI. Enfin, pour la coordination, tous les statuts de maturité ont montré une amélioration significative. Sur la majorité des tests effectués, nous avons pu observer une amélioration plus importante chez le statut de maturité PRE-PHV.

**Conclusion :** Notre étude a montré qu'un entraînement neuromusculaire permettait une amélioration des qualités athlétiques chez les jeunes joueurs de football élite. Le statut de maturité PRE-PHV semble être plus sensible à ces améliorations.

**Mots clés :** entraînement neuromusculaire, maturité, qualités athlétiques, football, élite.

## 10.2 Résumé anglais

**Objectives :** The aim of this study was to verify that neuromuscular training has effects on the development of athletic qualities as a function of maturity status in young elite football players, and to determine whether this type of training has more effects in a mature status.

**Materials and methods :** There were 21 subjects (n = 21) for this study. We had 7 players in each maturity status (PRE-PHV, MID-PHV, POST-PHV). During this study, all the players took part in a 5-week control period and a 5-week experimental period. These 2 periods followed one another. During the control period, all the players took part in their football training sessions (5 times a week) plus their weekend match. During the experimental period, neuromuscular training lasting 15 to 20 minutes was added to their football training. This training was carried out at a rate of 2 sessions per week for 5 weeks. The athletic qualities assessed were strength (F0 in N/kg), speed (30m time), power (CMJ, Standing Broad Jump, RSI) and coordination (4s tapping). They were assessed before the start of the control period (Test 1), at the end of the control period (Test 2) and at the end of the experimental period (Test 3).

**Results :** Following the experimental protocol, all maturity statuses experienced a significant improvement in strength and speed. In terms of power, only the PRE-PHV and MID-PHV statuses improved significantly on the CMJ. All the statuses showed a significant improvement in Standing Broad Jump and only the MID-PHV status showed a significant improvement in RSI. Finally, for coordination, all maturity statuses showed a significant improvement. In most of the tests performed, we observed a greater improvement in the PRE-PHV maturity status.

**Conclusion :** Our study showed that neuromuscular training improved the athletic qualities of young elite football players. The PRE-PHV maturity status seems to be more sensitive to these improvements.

**Key words :** neuromuscular training, maturity, athletic qualities, football, elite.

## 11. Compétences acquises

- Savoir analyser la demande, les besoins et les spécificités de la discipline sportive.
- Proposer un protocole d'entraînement spécifique et adapté à une discipline sportive, en vue d'améliorer les performances des joueurs.
- Concevoir des protocoles de mesures adaptés pour l'entraînement et la performance dans le cadre du projet sportif.
- Produire une évaluation systémique et une caractérisation individuelle des facteurs de la performance des sportifs suivis.
- Maîtriser l'usage d'outils technologiques au service du projet de performance pour évaluer et développer les capacités des joueurs.
- Analyser et comprendre les résultats des évaluations ainsi que l'évolution des performances dans la discipline sportive.