

Année universitaire 2024-2025

Master 1^{ère} année Master 2^{ème} année

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

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

MÉMOIRE

TITRE : Efficacité d'un programme d'entraînement à poids de corps sur les capacités de décélération des joueurs de football U19 National

Par : LUTZ Julien-Frédéric

Sous la direction de : DAUSSIN Frédéric

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

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

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux personnes qui m'ont soutenu et accompagné tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

En premier lieu, je remercie chaleureusement mon tuteur Grégoire PETIT pour son accompagnement précieux tout au long de l'année. Son exigence constante et ses connaissances pointues ont été des moteurs essentiels dans la réalisation de ce travail. Grâce à lui, j'ai pu développer rigueur méthodologique et approche critique, indispensables dans le cadre de ce mémoire.

Je tiens également à exprimer toute ma reconnaissance à Frédéric DAUSSIN, mon directeur de mémoire, pour son encadrement bienveillant, ses conseils avisés et ses retours constructifs lors des phases de rédaction et de révision de ce travail. Son expertise et sa disponibilité ont été d'un grand soutien dans l'aboutissement de ce projet.

Je remercie vivement le club de l'OMF pour le prêt de matériel, notamment les capteurs GPS, sans lesquels ce travail n'aurait pu se concrétiser. Je tiens également à exprimer toute ma reconnaissance aux staffs techniques qui ont facilité la mise en place du protocole d'entraînement : le staff U15R2, composé de Kylian LEBBE, Laurent PETIT, Thomas LECOUSTRE et Adrian BROGNIEZ ; ainsi que le staff U19 Nat, composé de Didier MAIROT, Teddy BACLET, Jeremy HORRENT, Fred MERTENS et Arthur POMART.

Un grand merci également à mes camarades de promotion pour les échanges enrichissants, les partages d'expériences et le soutien mutuel tout au long de cette année.

Enfin, je souhaite particulièrement remercier ma famille et mes proches pour leur soutien inconditionnel, leur compréhension et leurs encouragements constants. Leur présence à mes côtés a été essentielle tout au long de mes études de MASTER EOPS.

À toutes ces personnes, je dédie ce travail en témoignage de ma gratitude et de mon respect.

TABLE DES MATIERES

I.	Introduction.....	7
II.	Revue de littérature.....	9
2.1.	Football	9
2.2.	Principes biomécaniques et physiologiques.....	10
2.3.	Importance de la décélération dans le football.....	11
2.4.	Évaluation des capacités de décélération	13
2.5.	Méthodes d'entraînement des capacités de décélération	15
2.6.	Lacunes et perspectives.....	17
III.	Problématique, objectifs et hypothèses.....	18
3.1.	Problématique	18
3.2.	Objectifs	18
3.3.	Hypothèses	19
IV.	Stage	20
4.1.	Milieu professionnel	20
4.2.	Sujets	20
4.3.	Protocole expérimental	21
4.4.	Méthodes d'évaluation.....	21
4.5.	Outils utilisés et marqueurs relevés	23
4.6.	Analyse statistique	24
V.	Résultats.....	25
5.1.	Présentation des valeurs retenues.....	25
5.2.	Analyse statistique	25
VI.	Discussion.....	27
6.1.	Interprétation	27
6.2.	Comparaison avec la littérature existante	27
6.3.	Analyse des facteurs ayant influencé les performances.....	29
6.4.	Limites du protocole mis en œuvre.....	31
6.5.	Perspectives pratiques	32
VII.	Conclusion	33
VIII.	Bibliographie	34
IX.	Annexes	39
X.	Résumé	45
XI.	Abstract.....	46

GLOSSAIRE

COD : Change of direction (changement de direction)

CMJ : Counter Movement Jump

DD : Deceleration Deficit (déficit de décélération)

HSR : High Speed Running (course à haute intensité)

IFAB : International Football Association Board

RPE : Rated Perceived Exertion (niveau d'effort perçu)

R2 : Régionale 2

SSC : Stretch-shortening (cycle raccourcissement-étirement)

T1 : Session de tests 1

U19 : Under 19 (moins de 19 ans)

I. INTRODUCTION

Le football, discipline phare des sports collectifs, exige un haut niveau de polyvalence physique et technique, tant dans les performances individuelles que dans la coordination tactique. Parmi les qualités physiques essentielles, la capacité de décélération se distingue par son rôle central dans de nombreuses phases de jeu, notamment lors des changements de direction, des arrêts brusques et des situations de pressing. Contrairement à l'accélération ou au sprint, largement étudiés et entraînés, la décélération reste souvent sous-estimée dans les programmes de préparation physique. Pourtant, cette qualité influence directement d'autres composantes physiques telles que la réactivité, le changement de direction et la prévention des blessures.

Les phases de décélération, fréquentes en match, sollicitent intensément les muscles en phase excentrique, en particulier les ischio-jambiers et les quadriceps. Ces actions imposent des forces mécaniques considérables aux articulations, augmentant les risques de lésions musculaires ou tendineuses en cas de surcharge ou de technique inadéquate. En parallèle, elles conditionnent la capacité d'un joueur à se repositionner rapidement ou à réagir efficacement aux transitions, éléments essentiels dans les contextes tactiques modernes. Cependant, malgré leur importance, les programmes d'entraînement spécifiques à la décélération restent rares, notamment dans les environnements amateurs où les ressources matérielles sont limitées.

Cette situation soulève une problématique majeure : comment développer efficacement les capacités de décélération dans des contextes où l'accès à des outils avancés (plateformes de force, machines isocinétiques) est restreint ? Bien que des technologies comme les GPS soient de plus en plus accessibles, leur potentiel pour guider l'entraînement reste souvent sous-exploité. Les clubs amateurs et semi-professionnels manquent ainsi souvent de protocoles adaptés à leurs réalités.

Face à ces enjeux, ce mémoire poursuit deux objectifs principaux :

1. Évaluer l'impact d'une méthode d'entraînement spécifique sur les capacités de décélération chez les joueurs U19. Cette catégorie représente une phase clé de développement physique et technique, où les adaptations neuromusculaires sont maximisées.
2. Proposer un protocole pratique, reproductible et accessible, basé sur des outils simples et des exercices ciblés, permettant une mise en œuvre dans des environnements multiples.

Ce travail s'appuie sur une revue de la littérature scientifique pour identifier les méthodes d'entraînement les plus efficaces et les adapter au contexte amateur. En intégrant des exercices spécifiques tels que les pliométriques, le renforcement excentrique ainsi des tests pratiques à un protocole établi en amont, il ambitionne d'optimiser la performance tout en réduisant les risques de blessures. À travers l'analyse des résultats et la discussion de ceux-ci, ce mémoire vise à offrir aux entraîneurs et préparateurs physiques une solution concrète, fondée scientifiquement, pour améliorer les capacités de décélération des jeunes joueurs de football.

II. REVUE DE LITTERATURE

2.1. Football

Le football est un sport collectif défini par 17 lois du jeu. Il se joue sur un terrain d'une longueur comprise entre 90m et 120m, pour une largeur de 45m à 90m (IFAB, s.d.). Les 2 équipes de 11 joueurs chacune s'affrontent pendant deux périodes de 45 minutes. Les notions « d'en jeu » et « d'hors-jeu » sont supervisées par un arbitre central et ses trois assistants.

La pratique du football se distingue par un espace de jeu interpénétré, où les joueurs doivent s'adapter à un environnement marqué par une forte incertitude. La densité des joueurs dans l'espace varie constamment, tout comme la pression temporelle imposée par l'adversaire. Ces contraintes spatiales et temporelles façonnent la performance des joueurs, qui parcourent en moyenne 10 à 13 km par match pour se déplacer avec la zone de jeu, avec des variations significatives selon leur poste. Les milieux de terrain, souvent impliqués dans les transitions entre phases offensives et défensives, sont les plus sollicités, couvrant jusqu'à 13 km, tandis que les défenseurs centraux et les attaquants effectuent des efforts plus ciblés. (Gatorade Sport Science Institute, s.d.). Les défenseurs latéraux et les milieux de terrain réalisent un volume élevé d'efforts à haute intensité, incluant des courses le long des lignes ou des phases de pressing. À l'inverse, les défenseurs centraux privilégiennent des actions positionnelles, bien qu'ils soient fréquemment sollicités pour des accélérations et décélérations soudaines. Bien que la majorité de la distance soit parcourue à des intensités faibles à modérées, les efforts à haute intensité (vitesse supérieure à 19,8 km/h) représentent environ 8 à 12 % de la distance totale parcourue. Les joueurs effectuent en moyenne 30 à 40 sprints par match, totalisant environ 200 à 350 mètres. (Zouhal et al., 2021). Ces différentes données permettent de mettre en lumière la spécificité par poste du football, avec des rôles bien définis selon les projets de jeu et la position du ballon dans l'espace.

Par ailleurs, la manipulation constante de cet « espace de jeu effectif » induit une grande fréquence de changements de direction (change of direction en anglais, COD), nécessaires pour répondre aux contraintes imposées par l'adversaire. Ces COD, essentiels pour les transitions offensives et défensives, exigent des arrêts brusques suivis de réorientations rapides. Bloomfield et al. (2007) ont dénombré un total de plus de 700 COD par joueur dans des matchs de Premier League, tandis que Kai et al. (2021) en ont dénombré 183 à des vitesses supérieures à 2 m/s. Ces efforts intermittents à haute intensité représentent 8 à 12 % de la distance totale parcourue en match et jouent un rôle clé dans les actions décisives, telles que les dribbles ou les interceptions (Harper et al., 2019). En effet, un changement de

direction peut être à l'origine d'un temps d'avance sur l'adversaire, amenant le danger sur la cage adverse, et potentiellement un but. En parallèle, Zouhal et al. (2021) ont mis en évidence que les distances totales parcourues en accélérations et décélérations cumulées peuvent atteindre 3 500 à 3 800 m par match chez les joueurs professionnels. Ces efforts, bien que représentant une proportion modeste de la distance totale, génèrent des charges mécaniques et physiologiques élevées, impactant directement les performances individuelles et collectives.

2.2. Principes biomécaniques et physiologiques

Pour revenir sur les COD, souvent exécutés à haute intensité, ils nécessitent une capacité à décélérer rapidement avant de réorienter le corps vers une nouvelle direction et de réaccélérer. La capacité à changer de direction est intrinsèquement liée au cycle étirement-raccourcissement (SSC), un mécanisme qui combine une contraction musculaire excentrique rapide suivie d'une contraction concentrique. Lors des phases de freinage, les muscles excentriques absorbent une grande partie des forces générées, stockant temporairement de l'énergie élastique qui peut être restituée lors de la phase de propulsion. Ce processus optimise l'efficacité biomécanique, tout en réduisant les contraintes articulaires si une bonne technique est adoptée (Hewit et al., 2011).

Ainsi, Harper et Kiely mettent en évidence le rôle central de la décélération dans les COD : une décélération efficace permet de réduire le temps d'arrêt et d'optimiser le mouvement suivant, ce qui est déterminant pour la performance, en particulier dans les actions décisives comme les dribbles, les interceptions ou les contre-attaques (Harper et al., 2018). L'objectif intrinsèque à cet aspect du changement de direction est d'augmenter volontairement le temps de contact au sol en transférant un maximum des forces subies dans celui-ci. Trois groupes musculaires majeurs sont impliqués dans ces décélérations : les ischio-jambiers (semi-tendineux, semi-membraneux et biceps fémoral) les quadriceps et les mollets (soléaire et gastrocnémiens). Les contractions excentriques des quadriceps jouent un rôle clé pour contrôler l'impact lors du freinage, les ischio-jambiers contribuent, eux, à stabiliser le genou et à absorber les forces tandis que les mollets assurent la stabilisation de la cheville. Ces mécanismes sont particulièrement sollicités chez les milieux de terrain et les joueurs de couloirs, qui réalisent jusqu'à 40 % de leurs décélérations à intensité élevée (Silva et al., 2023).

Au niveau des articulations, le genou est particulièrement sollicité, absorbant jusqu'à 64 % des charges mécaniques lors des décélérations horizontales intenses. Les chevilles et les hanches interviennent également pour répartir les forces et assurer la stabilité posturale (36%). Si l'amplitude de mouvement ou la force musculaire des articulations concernées est insuffisante, le genou peut être soumis à une

surcharge excessive, ce qui augmente considérablement le risque de blessures, notamment au niveau des ligaments ou des tendons (Kotsifaki et al., 2021). Par ailleurs, une faiblesse en force excentrique des groupes musculaires mentionnés précédemment a été directement associée à une diminution des performances en décélération, ainsi qu'à une tendance accrue à la blessure (Harper et al., 2021). Cette vulnérabilité articulaire souligne l'importance d'un entraînement excentrique ciblé et d'un renforcement équilibré pour préparer les athlètes aux contraintes spécifiques du football (Hewit et al., 2011). Harper et al. (2021) renforcent ainsi cette approche en soulignant la relation étroite entre la force développée à vitesse rapide par les fléchisseurs et extenseurs du genou et la décélération. La corrélation de la force excentrique des extenseurs avec les capacités de décélération de l'athlète est également très significative à vitesse lente, tandis que celle des fléchisseurs reste encore floue.

Il est donc nécessaire de préparer les joueurs à gérer ces contraintes intenses. Cela inclut donc des exercices spécifiques visant à améliorer la force excentrique, la technique et la résilience musculaire pour réduire les risques de blessure et optimiser la performance.

2.3. Importance de la décélération dans le football

Le football est caractérisé par des phases alternant courses rapides, sprints, accélérations et décélérations. Ces dernières sont particulièrement fréquentes et critiques pour les changements de direction et les déplacements défensifs. En effet, la capacité à décélérer rapidement influence directement la réactivité d'un joueur dans des situations de crise de temps, comme la récupération de balle ou les transitions. Ces situations forcent le joueur à s'adapter rapidement à son environnement, en raison du déplacement du porteur de balle ou de l'anticipation du défenseur, par exemple. Comme mentionné précédemment, Zouhal et al. (2021) ont relevé que les distances totales de décélération et d'accélération cumulées effectuées en match par des joueurs professionnels peuvent atteindre 3 500 à 3 800 mètres, soit plus de 30% des distances moyennes parcourues par joueur et par match (environ 10 km selon le CIES, 2021). Plus que la distance totale, les déplacements à haute intensité semblent être d'autant plus importants dans l'obtention d'un résultat. Le CIES a démontré une corrélation entre l'écart de distance de sprint ($>25,2 \text{ km/h}$) et la différence de buts lors d'une rencontre. De plus, Martínez-Hernández et al. (2023) ont quantifié l'importance des décélérations dans l'obtention d'un résultat, en constatant que l'action la plus décisive en Premier League anglaise était composée d'une course à haute intensité en ligne droite, suivie d'une décélération et d'un changement de direction. Comme mentionné précédemment, le football présente un ratio d'accélérations/décélérations intenses et très intenses bien en faveur des décélérations (Akenhead, 2013). La relation entre accélérations et décélérations devient évidente : tandis qu'une

accélération intense permet d'atteindre une vitesse élevée, une décélération efficace résulte elle de l'adaptation face à l'incertitude.

Néanmoins, une problématique se pose quant à la définition des seuils d'intensité. Une décélération intense présuppose possiblement une vitesse de course préalable plus ou moins élevée. Cependant, Gualtieri et al. (2023) ont mis en évidence une absence de consensus scientifique sur la définition exacte d'une course à haute intensité (HSR : High Speed Running en anglais). Ils ont tout de même observé que, dans la majorité des études, la vitesse de référence d'une HSR était établie autour de 19,8 km/h tandis que celle du Sprint était de 25 km/h. Il en va de même concernant les intensités de décélération. Sur les études mentionnées dans cette revue de littérature, le seuil de haute intensité est majoritairement fixé à 3 m/s/s.

En termes de quantification, les distances de décélération moyennes par match pour des professionnelles atteignent 365m à basse intensité (1-2 m/s²), 210m à moyenne intensité (2-3 m/s²) et 162m à haute intensité (>3m/s²). (Akenhead, 2013) Ces valeurs montrent que les décélérations à haute intensité, bien que moins fréquentes, constituent une part essentielle des efforts à grande vitesse. Au-delà de la spécificité sportive et collective, elle met également en lumière une spécificité par poste. La mise en évidence par Conde-Pipó et al. (2024) que les joueurs occupant les couloirs effectuent plus fréquemment des accélérations et des décélérations en catégorie jeunes est appuyée par les mêmes constatations de Silva et al. (2023) et Harper et al. (2019), dans un contexte similaire en milieu professionnel. Leur nombre a également tendance à diminuer avec le temps, avec moins de décélérations et d'accélérations intenses en seconde mi-temps.

La place centrale de la capacité de décélération dans la performance au football n'étant plus à prouver, elle devient également un indicateur fiable pour la charge physique. Dans la partie précédente, il a été souligné que l'articulation du genou encaissait jusqu'à 64% de la charge totale lors d'une décélération, et que le risque de blessure augmentait donc avec la fatigue pour les changements de direction à haute intensité. Les décélérations sont donc des paramètres importants à suivre pour manipuler la charge physique globale. Silva et al. (2023) mettent en lumière la présence plus importante de décélérations intenses sur les jeux réduits que sur les exercices ou circuits training. Cette variabilité du nombre et de l'intensité des décélérations effectuées en fonction des procédés d'entraînement, associée à une charge majoritairement encaissée dans l'articulation du genou et à une grande importance de la force excentrique des extenseurs de ce dernier, induit l'importance de l'établissement préalable d'une stratégie de prévention des blessures efficace.

En effet, les lésions musculaires des ischio-jambiers représentent environ 37 % des blessures musculaires chez les joueurs professionnels, souvent causées par des sprints ou des décélérations intenses (Ekstrand et al., 2011). Les quadriceps sont également fréquemment impliqués, notamment lors des tirs et des freinages brusques. Par ailleurs, les blessures ligamentaires, comme les ruptures du ligament croisé antérieur (LCA), touchent chaque année entre 0,06 et 0,09 % des joueurs, avec une prévalence accrue chez les jeunes athlètes et les femmes (Waldén et al., 2010). Elles interpellent majoritairement par la durée d'indisponibilité de l'athlète (environ 6 mois), la nécessité d'effectuer une opération et une fragilité accrue d'une récidive ou d'une compensation sur le second genou à la reprise. Ces blessures surviennent souvent lors de mouvements combinant décélération, rotation et valgus du genou, renforçant la nécessité d'un équilibre musculaire optimal entre les extenseurs et les fléchisseurs.

La capacité de décélération n'est donc pas seulement un levier de performance en football, mais aussi un paramètre clé pour l'optimisation de l'entraînement et la gestion des risques de blessures.

2.4. Évaluation des capacités de décélération

Dans le cadre de notre étude, l'évaluation des capacités de décélération est essentielle pour évaluer le degré d'amélioration de celle-ci, afin d'établir ou non sa significativité. Ces tests permettent non seulement de quantifier l'efficacité des joueurs à freiner rapidement, mais permettent également aux membres du staff d'identifier les déficits éventuels et d'orienter les entraînements. Le double aspect de travail de recherche combiné à la nécessité du résultat en compétition induit en effet de pouvoir satisfaire les différents partis. Dans cette optique, différentes approches, allant des tests de terrain aux technologies avancées, ont été développées pour mesurer ces capacités de manière fiable. Ces tests sont basés sur plusieurs composantes :

2.4.1 Les tests terrain de décélération horizontale

Ils se concentrent sur la capacité d'un athlète à freiner efficacement à partir d'une course à haute vitesse. Chen et al. (2024) ont démontré que les métriques issues de ces tests présentent une excellente fiabilité test-retest. Ils ont notamment mis en évidence que les tests sur des distances courtes (10 m) sont particulièrement efficaces pour détecter les déficits de freinage, tandis que ceux sur des distances plus longues (15 m) offrent une meilleure compréhension des forces excentriques appliquées. Une comparaison avec des données préalablement obtenues en sprint simple sur les mêmes distances est effectuée pour garantir l'atteinte d'une haute intensité. L'objectif étant d'éviter une anticipation accrue du changement de direction, laquelle fausserait les valeurs obtenues. La décélération est provoquée soit

volontairement (consigne de s'arrêter sur la ligne), soit involontairement (toucher un mât et repartir en arrière), soit de façon intégrée via un changement de direction (test aller-retour ou 505). Le même procédé est ainsi appliqué après des distances de 5, 10 ou 20m, et dans de rares cas jusqu'à 30m. (Harper, s. d.)

2.4.2 *Les outils technologiques de mesure*

Ils permettent d'obtenir des données détaillées et précises sur les capacités de décélération. L'utilisation de radars combinés aux photocellules est souvent priorisée, permettant une mesure efficace de la vitesse. Plus récemment, Harper et al. (2023) ont démontré l'efficacité des radars Doppler pour mesurer la décélération maximale (m/s^2) ainsi que les forces horizontales générées. Ces dispositifs offrent une sensibilité accrue pour détecter les déficits ou les progrès après une phase expérimentale. Les plateformes de force, bien que moins accessibles, permettent une analyse approfondie des forces excentriques et concentriques à diverses angulations, fournissant des données directes sur la puissance déployée. Les outils de résistance tels que la « 1080 Sprint » sont également utilisés afin d'obtenir des données précises. Les supports de prise vidéo sont parfois mis en œuvre, dans l'optique d'effectuer une analyse fine *a posteriori*. Enfin, l'utilisation toujours plus démocratisée des GPS permet un recueil des données de décélération moyennes et maximale sur les derniers modèles via l'implantation de gyroscopes et d'accéléromètres. Fixés sur le corps des athlètes, ces capteurs enregistrent les accélérations et décélérations en temps réel et permettent également de quantifier la charge externe. (Harper, s. d.) Varley et al. (2012) ont démontré que les GPS à haute fréquence d'échantillonnage (10 Hz et plus) offrent une meilleure précision et fiabilité dans la mesure de la vitesse instantanée lors de phases d'accélération, de décélération et de mouvement constant. Les modèles de dernière génération peuvent ainsi être considérés comme des outils fiables pour mesurer la vitesse constante, l'accélération et la décélération lors de courses en ligne droite, offrant une sensibilité adéquate pour détecter les variations de performance dans les sports collectifs.

2.4.3 *L'analyse des données*

Le “Deceleration Deficit” (DD) est une méthode mise au point par Clarke et al. (2022) qui évalue l'efficacité du freinage d'un joueur. On obtient ce déficit en soustrayant un temps mettant en œuvre une décélération ou un changement de direction intense à un temps sollicitant sa vitesse de course maximale. Les deux temps sont obtenus sur une même distance. Un déficit élevé peut ainsi révéler des carences dans la capacité à freiner par rapport à la vitesse générée. Cette approche, qui nécessite uniquement des photocellules ou un radar pour les mesures de vitesse, permet une évaluation rapide et pratique sur le terrain, à condition d'effectuer des tests d'accélération pour une analyse efficace des résultats. Ce déficit

de décélération est également significativement corrélé au déficit de changement de direction (COD) observé sur un test 505. Cette approche est ainsi particulièrement utile pour identifier les joueurs présentant des faiblesses spécifiques et pour individualiser des programmes d'entraînement. Des outils de mesure comme les GPS ou accélémètres permettent quant à eux d'obtenir des données directes via un algorithme présent dans la plateforme de présentation des données. Ils permettent d'identifier rapidement des pics d'intensité, sous condition d'un paramétrage préalable afin de correspondre aux intensités de matchs, comme mentionné précédemment.

En conclusion, l'évaluation des capacités de décélération repose sur un éventail d'outils, allant des méthodes de terrain simples, comme le Deceleration Deficit et le test 505, à des technologies plus avancées, telles que les radars et les plateformes de force. Une combinaison judicieuse de ces approches peut fournir une vision complète des performances des joueurs, permettant d'optimiser leur entraînement tout en réduisant les risques de blessures.

2.5. Méthodes d'entraînement des capacités de décélération

Plusieurs approches complémentaires, incluant des exercices de force, des entraînements techniques et des jeux spécifiques au football, ont été proposées dans la littérature pour répondre aux exigences de la pratique. Pour une compréhension facilitée, on organisera cette partie de la revue de littérature par catégorie.

2.5.1 Entrainement excentrique, concentrique et force

Hoyo et al. (2015) ont proposé un programme d'entraînement en surcharge excentrique sur 10 semaines, lequel a montré des améliorations significatives dans la réduction des blessures musculaires et l'efficacité des freinages. Les exercices mis en pratique étaient le leg curl et les demi-squats à la machine dite « flywheel ». Une incrémentation progressive avec 2 semaines à une session puis 8 semaines à 2 sessions accompagnée de 3 à 6 séries de 8 répétitions a permis une amélioration de 7,6 % des performances en CMJ. Nevado et al. (2021) ont effectué un protocole similaire, avec plus d'exercices mais moins de répétitions. Les sujets étaient également encouragés à effectuer la contraction uniquement sur le dernier tiers de la phase excentrique. Les résultats ont démontré une augmentation significative de la vitesse maximale de décélération et de la distance totale passée en décélération supérieure à 3m/s^2 .

2.5.2 Développement technique et postural

Harper et al. (2024), via le *Braking Performance Framework*, recommandent de se concentrer sur la position du centre de gravité, la flexion des genoux et l’alignement segmentaire lors des phases de freinage. Maintenir un centre de gravité bas améliore en effet la stabilité par une meilleure répartition des forces. Cela permet au joueur de mieux absorber les impacts et de se préparer efficacement à des transitions rapides. Une flexion adéquate des genoux permet également de réduire la charge mécanique directe sur les articulations, en transférant une partie des forces vers les muscles excentriques des quadriceps et des ischio-jambiers. Enfin, un alignement correct des segments corporels (torse, hanches, genoux et chevilles) minimise les tensions inutiles et permet une absorption efficace des forces lors des freinages. L’objectif est ici d’améliorer la coordination générale et d’optimiser les schémas moteurs afin de maximiser l’efficacité des décélérations. Ces constatations ont été renforcées par Akyuz et Camliguney (2020), lesquels ont établi qu’après 8 semaines d’entraînement spécifique, les jeunes joueurs ont amélioré significativement leur équilibre dynamique. Leur programme comprenait des exercices ciblant l’équilibre dynamique et le contrôle postural, intégrant des freins contrôlés et des réorientations rapides.

2.5.3 Pliométrie spécifique au football

La pliométrie, qui exploite le cycle étirement-raccourcissement (SSC), est essentielle pour améliorer l’absorption et la restitution d’énergie lors des changements de direction. La phase de raccourcissement est ainsi intrinsèquement une phase de décélération. Aloui et al. (2021) ont effectué une combinaison d’exercices pliométriques et de sprints courts sur 6 semaines avec 2 séances par semaine. Ces séances ont permis d’augmenter la force explosive et d’améliorer les performances dans les changements de direction chez les joueurs U19. De façon beaucoup plus large, la méta-analyse de Dong et al. (2023) a révélé que les exercices pliométriques horizontaux, lorsqu’ils sont effectués indépendamment de tout programme combiné, sont les plus efficaces pour développer des capacités de changement de direction.

2.5.4 Approches combinées

A contrario, la même méta-analyse de Dong et al. (2023) démontre que la méthode d’entraînement la plus efficace est une combinaison d’un travail pliométrique, d’un travail de sprint, d’un travail d’agilité avec changement de direction et d’un travail en résistance. Harper et al. (2024) ont eux aussi mesuré l’intégration d’approches combinées, mêlant exercices spécifiques et situations de jeu. Celle-ci maximise le transfert des qualités développées vers les performances en match.

2.5.5 Approches intégrées

Silva et al. (2023) ont démontré que les séances d'entraînement intégrant des jeux réduits ont montré une intensité de décélérations plus élevée que les exercices isolés, en raison de la dynamique imprévisible des interactions joueur-adversaire. Cependant, Nevado et al. (2021) ont constaté que les jeux réduits au format 6v6 + gardienne ne permettent pas de réelle amélioration des capacités de décélération, en raison d'une impossibilité d'atteinte des vitesses importantes pour générer une décélération efficace ($> 3 \text{ m/s}^2$). L'espace de jeu de 38m x 45m était insuffisant ($131 \text{ m}^2 / \text{joueur}$, minimum de $225 \text{ m}^2 / \text{joueur}$ pour obtenir des phases de sprint).

Ces approches complémentaires permettent de développer les capacités de décélération de manière holistique. En combinant force, technique, pliométrie, et contextes spécifiques, les joueurs sont mieux préparés à répondre aux exigences physiques et tactiques du football moderne, tout en réduisant le risque de blessures.

2.6. Lacunes et perspectives

Il subsiste encore plusieurs limitations. Les évaluations contemporaines, telles que le Deceleration Deficit (Clarke et al., 2022) ou les analyses basées sur le radar (Harper et al., 2023), présentent fréquemment un manque de standardisation en ce qui concerne les distances, les intensités et les normes d'interprétation. Cela complique les tentatives de mise en parallèle des recherches, comme le conclut l'analyse méta de Marvin et al. (2024). Par la suite, une grande partie des évaluations de décélération sont effectuées dans des conditions normalisées et n'intègrent pas le contexte réel du jeu ou de la rencontre, où des éléments tels que la contrainte temporelle ou l'ampleur spatiale affectent le rendement (Silva et al., 2023). Peu d'études prennent également en compte l'effet de la fatigue sur les performances de freinage, malgré le fait qu'elle soit reconnue pour diminuer les performances et accroître les dangers de blessures lors de la seconde mi-temps (Harper et al., 2019). Les instruments pour évaluer cette décélération, comme les plateformes de force ou les radars Doppler, fournissent des informations précises, mais ils demeurent onéreux et difficilement accessibles pour les équipes amateurs ou semi-professionnelles (McBurnie et al., 2022). Pour conclure, même si des recherches telles que celle d'Akyuz et Camliguney (2020) portent principalement sur les jeunes athlètes, la plupart des travaux se focalisent sur les professionnels, omettant ainsi de prendre en compte les particularités liées à l'évolution physique et technique des catégories plus jeunes.

III. PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS ET HYPOTHESES

3.1. Problématique

Dans le football, la capacité de décélération est donc une composante clé dans les performances athlétiques, via son implication lors des changements de direction. Bien que le champ de connaissances reste relativement restreint à l'heure actuelle, de nombreuses études récentes viennent enrichir celui-ci, démontrant une nouvelle dynamique et un regain d'intérêt à une problématique trop longtemps mise de côté. Malheureusement, les méthodes d'entraînement proposées jusqu'à présent dans la littérature mettent régulièrement en avant des outils sophistiqués et des infrastructures avancées, limitant leur accessibilité dans les contextes amateurs. Ceci aboutit à un paradoxe : une des qualités physiques les plus essentielles de ce sport n'est que peu développée par la grande majorité de ses pratiquants.

Afin d'y remédier, c'est donc dans ce contexte que se soulève une question centrale : **Un programme d'entraînement composé d'exercices simples, nécessitant peu de matériel, peut-il améliorer les capacités de décélération dans un contexte amateur ?**

Ce mémoire vise ainsi à répondre à cette problématique en testant un programme préalablement élaboré, adapté aux contraintes des clubs amateurs, afin de fournir une solution pratique et scientifiquement fondée. Une ouverture sera également faite pour envisager la comparaison de l'efficacité de ce programme avec des interventions basées sur des technologies avancées, en explorant leur applicabilité et leur pertinence dans des environnements à faibles moyens.

3.2. Objectifs

L'objectif principal de ce mémoire est d'évaluer l'effet d'un programme d'entraînement dédié, à poids de corps, précédemment conçu, sur la capacité à décélérer chez des joueurs de football U19 évoluant dans un cadre amateur. Ce programme se démarque par l'emploi d'exercices simples et abordables, qui requièrent peu de matériel, pour s'adapter aux limitations des clubs ayant des ressources restreintes.

Plus spécifiquement, les objectifs secondaires sont :

- Quantifier les progrès liés à la capacité de décélération via des tests standardisés.
 - Concevoir un programme d'entraînement facilement intégrable dans les structures amateurs, adaptable à différents groupes d'âge ou niveaux.
 - Explorer les bénéfices pratiques
-

3.3. Hypothèses

Pour répondre à la problématique, plusieurs hypothèses sont avancées :

1. Hypothèse principale :

- Un programme d'entraînement composé d'exercices simples et nécessitant peu de matériel permet une amélioration significative des capacités de décélération chez des joueurs U19 National évoluant en contexte amateur. Cette hypothèse sera ici notre hypothèse de travail.

2. Hypothèses secondaires :

- Les joueurs présentant des déficits initiaux plus marqués en décélération bénéficieront de gains proportionnellement plus importants.
- Le programme entraînera des améliorations des paramètres liés aux décélérations (forces excentriques, temps de freinage, indices de changement de direction).
- Les bénéfices du programme s'étendront à la prévention des blessures, en réduisant les déséquilibres musculaires et les contraintes articulaires associées aux décélérations.

Ces hypothèses guideront l'analyse des résultats et permettront d'évaluer l'efficacité du programme proposé dans le cadre de ce mémoire.

IV. STAGE

4.1. Milieu professionnel

Le milieu professionnel au sein duquel j'ai évolué cette année dans le cadre de mon stage est le club de l'Olympique Marcquois Football (Figure 1). Ce club de la ville de Marcq-en-Barœul est un habitué du plus haut niveau régional et est présent depuis quelque temps sur le plan national. Avec plus de 900 licenciés et de 30 équipes, le club propose un minimum de 2 équipes par catégorie d'âge pour le football à 11 (U18/U17/U16/U15/U14) et de 3 équipes pour le football à 8 (U13/U12/U11/U10). Il possède également une section féminine avec une équipe minimum par catégorie. À la suite d'un premier stage effectué au sein de l'équipe Séniors de National 3 et en tant qu'éducateur U12, l'opportunité s'est présentée de prendre en charge la préparation physique de l'équipe U19 National tout en restant adjoint de l'équipe U15 R2.



Figure 1 : Logo OMF

Mes missions sont la prise en charge complète de la préparation physique, la gestion de la charge des joueurs, l'animation de séances terrain de préparation physique, la prévention des blessures ainsi que la réathlétisation des blessés, la mise en place de protocoles d'échauffement, la programmation des trêves ainsi que la gestion des GPS dans leur globalité. En tant qu'adjoint U15R2, mes missions sont la prise vidéo avec drone, la prise RPE post-séance, la gestion des échauffements, la gestion de la charge globale des joueurs et l'animation de séance terrain spécifique football.

4.2. Sujets

23 joueurs de l'équipe des U19 Nationaux de l'Olympique Marcquois Football ont été testés pré et post période expérimentale. Les gardiens, pour des raisons logistiques et pour leur spécificité, n'ont pas été pris en compte dans les résultats finaux. La moyenne de leurs données anthropométriques est présentée dans le tableau ci-dessous (Figure 2). Le tableau complet des données est disponible en Annexe 1.

Nombre de joueurs	Âge moyen (années)	Taille moyenne (cm)	Poids moyen (kg)
N = 23	17,80 ± 0,6	178,3 ± 5,3	71,2 ± 7,2

Figure 2 : Tableau des données anthropométriques

4.3. Protocole expérimental

Le protocole expérimental dure 10 semaines et se décompose en une première période de contrôle de 4 semaines caractérisée par un maintien du programme d'entraînement habituel. La seconde période durera 6 semaines, avec une intégration d'exercices pliométriques et excentriques tels que le Nordic hamstring ou le Sissy squat. Ces derniers ont été retenus pour leur efficacité démontrée dans le développement de la force excentrique (Hoyo et al., 2015). De plus, leur simplicité d'exécution et leur faible coût matériel en font des choix adaptés au contexte amateur.

4.4. Méthodes d'évaluation

Une première phase de tests (T1) : Elle sera effectuée comme point de départ de la période contrôle, afin d'établir les valeurs de référence de chaque joueur. Ils effectueront un sprint de 10m, un sprint de 10m + 5m aller et 5m retour en course arrière, et un test 505.

- *Le test sprint 10m* : tous les joueurs sont alignés, GPS sur le dos. Ils partent au top départ et parcourent les 10m le plus rapidement possible (Figure 3). La consigne est donnée de ne pas ralentir tant que la ligne d'arrivée n'est pas franchie. Après 2 minutes de récupération, un second test est effectué. Cette fois-ci, les joueurs partent quand ils le souhaitent, mais toujours dans l'intention de réaliser le meilleur temps possible. La meilleure des deux valeurs est retenue. L'objectif est ici de limiter le biais qu'est la dynamique de groupe, en sollicitant une motivation extrinsèque dans un premier temps, puis une motivation intrinsèque dans un second temps. On effectue 2 minutes de récupération avant les prochains tests.

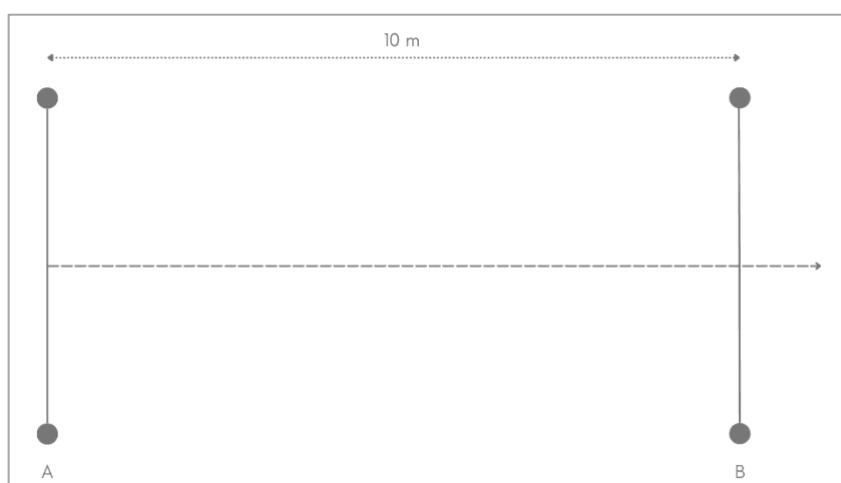


Figure 3 : Schéma du test Sprint 10m

- Le test 10m + 5m aller/retour plot (touch mat) : tous les joueurs sont alignés, GPS sur le dos. Ils ont pour objectif de passer la porte, faire chuter un cône et revenir en marche arrière dans la porte le plus rapidement possible. Ils partent au top départ et parcourent les 10m le plus rapidement possible. La consigne est donnée de ne pas ralentir tant que la porte n'est pas franchie. Ils doivent synchroniser leur décélération avec leur positionnement dans l'espace afin de pouvoir optimiser le changement de direction (Figure 4). Tout cône encore debout invalide le passage. Comme précédemment, on effectue une seconde fois le test en laissant la liberté aux joueurs de partir quand ils le souhaitent, avec un minimum de 2 minutes de récupération.

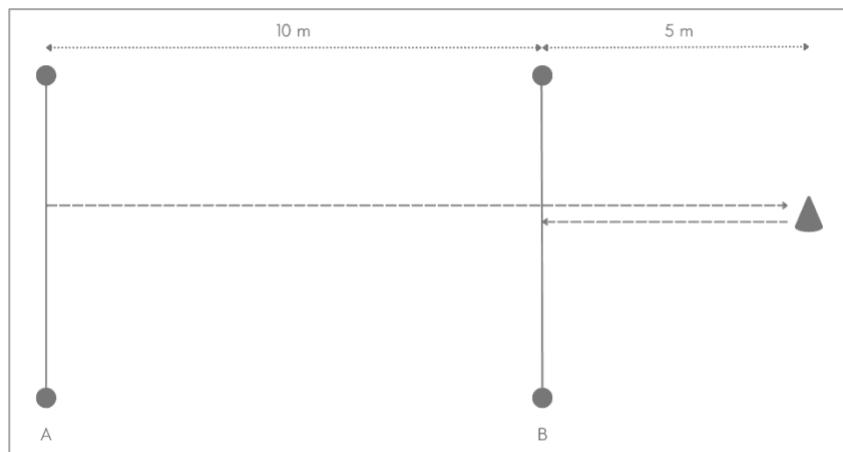


Figure 4 : Schéma du test 10m + 5m A/R

- Le test 505 : tous les joueurs sont alignés, GPS sur le dos. Ils ont pour objectif de toucher la ligne des 15m, changer de direction et repasser la porte des 10m le plus vite possible (Figure 5). 2 minutes de récupération sont prises avant une seconde tentative en départ libre.

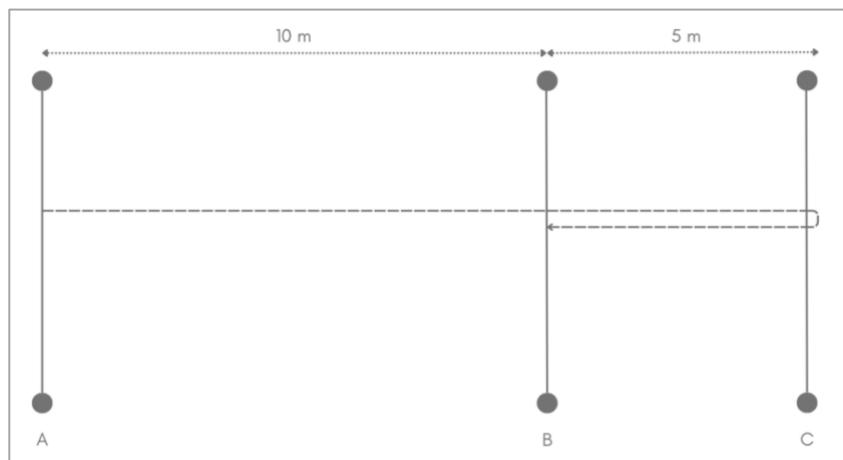


Figure 5 : Schéma du test 505

Une période contrôle de 4 semaines : L'entraînement reste axé sur la programmation habituelle afin d'établir des références et de suivre les variables des données GPS issues de chaque séance.

Une seconde phase de tests (T2) : Répétition des tests initiaux (10m, 10m + COD, 505) pour établir une potentielle différence avec les tests initiaux. Le cadre de mise en pratique des tests reste strictement le même afin d'éviter tout biais.

Une période expérimentale de 6 semaines : Elle intègre, à raison de 2 sessions par semaine, des exercices pliométriques et des exercices excentriques. La première session est à dominante excentrique, tandis que la seconde est à dominante pliométrique, afin d'effectuer un transfert vers l'activité et la compétition du weekend. La séance 1, réalisée à J+2, se compose de Sissy Squats et de Nordic Hamstrings en tempo 3-0-1-0, avec un exercice réalisé pendant le temps de récupération du second. Du fait qu'il s'agit là de deux groupes musculaires différents, cela n'engendrera pas de fatigue supplémentaire. La séance 2 réalisée à J-3, sera composée de Drops Jumps et de sauts de haies unilatéraux. La progressivité des deux séances au long du cycle est la même, avec une augmentation du nombre de répétitions ou de séries, afin d'avoir un total augmenté de 3 ou 4 répétitions ou sauts maximum par rapport à la semaine précédente. Tout ceci est résumé dans le schéma ci-dessous (Figure 6), ainsi qu'en Annexe 2.

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

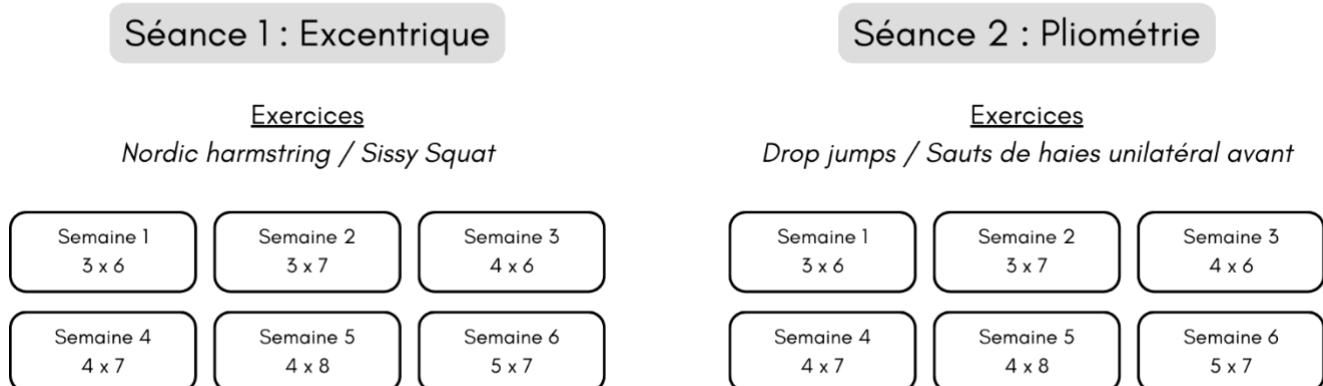


Figure 6 : Visualisation du protocole expérimental

Une troisième et dernière phase de tests (T3) : une répétition des tests initiaux pour comparer les performances et les potentielles adaptations à la suite de la phase expérimentale.

4.5. Outils utilisés et marqueurs relevés

La collecte de données a été assurée par des GPS Catapult modèle PlayerTek+, cadencés à 10 Hz. Les données ont été extraites au format CSV et analysées via Excel. Elles ont été comparées au total des décélérations à hautes intensités effectuées en match ($> 3\text{m/s}^2$) et à l'entraînement afin d'estimer si les

valeurs observées se rapprochent ou non de celles réalisées en match. Sur les données des différents tests, une comparaison entre la vitesse maximale atteinte au sprint 10m et la vitesse maximale atteinte au 10m + 5m aller/retour a été établie afin d'exclure toute potentielle donnée biaisée résultant d'un joueur ayant anticipé le changement de direction. La même manipulation a été effectuée avec le test 505. Une fois la banque de données établie, on extrait les valeurs de décélération maximale par joueur sur T1, T2 et T3 afin d'en faire un traitement statistique. Enfin, les données issues du test 505 ont été utilisées pour comparer avec celles de la littérature existante, le 505 étant le test le plus répandu.

4.6. Analyse statistique

L'analyse statistique des données porte principalement sur les valeurs de décélération maximale enregistrées lors des différents tests. Les données sont présentées sous forme de tableaux portant sur les moyennes et les écarts-types. Étant donné que trois sessions de tests ont été effectuées (avant la période contrôle, après la période contrôle, et après la période d'intervention), une comparaison des données sera effectuée pour évaluer les effets du programme d'entraînement.

Pour déterminer la significativité des résultats, les tests statistiques utilisés dépendront du caractère paramétrique ou non des données :

- **Si les données respectent les conditions de normalité** (vérifiées avec le test de Shapiro-Wilk) et d'homogénéité des variances, un test **ANOVA à mesures répétées pour échantillons dépendants** sera appliqué. Ce test permet de comparer les moyennes des trois sessions tout en tenant compte de la dépendance entre les mesures.
- **Si les données ne sont pas paramétriques**, un test de **Friedman** sera utilisé. Ce test non paramétrique est adapté pour comparer des échantillons dépendants sans supposer de distribution normale.

Le seuil de signification statistique est fixé à $p = 0,05$, soit un risque d'erreur de 5 %. Cela signifie qu'une différence sera considérée significative si la probabilité qu'elle soit due au hasard est inférieure à 5 %. Les analyses sont complétées par des tests post-hoc, avec le test de Tukey ou de Wilcoxon, pour identifier, le cas échéant, les comparaisons spécifiques à l'origine des différences significatives.

V. RESULTATS

5.1. Présentation des valeurs retenues

Sur les 23 joueurs initialement testés, 14 joueurs ont été retenus pour l'analyse finale. Les 9 autres joueurs ont été exclus en raison de critères spécifiques d'exclusion, à savoir :

- Manque de données sur un ou plusieurs tests, dû à des rotations entre groupes d'entraînement ou à des absences.
- Blessures survenues pendant la période d'entraînement ou de contrôle, rendant les données non exploitables.
- Données considérées comme non objectives, notamment en cas de vitesse d'approche non optimale par rapport à la vitesse maximale (ratio fixé à minimum 0,90, soit 90% de la vitesse maximale du joueur).

Les caractéristiques anthropométriques des joueurs retenus (âge, taille, poids) sont présentées dans le tableau suivant. Le détail de ces données ainsi que les résultats sont disponibles en Annexes 3, 4, 5 et 6.

Nombre de joueurs	Âge moyen (années)	Taille moyenne (cm)	Poids moyen (kg)
N = 14	18,0 ± 0,6	179,0 ± 5,7	73,5 ± 7,3

Figure 7 : Tableau des données anthropométriques des joueurs retenus

5.2. Analyse des données obtenues

Pour vérifier l'hypothèse de travail précédemment annoncée, nous avons procédé à une analyse statistique des résultats obtenus (Figure 8 ci-dessous) aux tests S10, 505 et 10-5 Plot. Suite à la non-normalité de certains échantillons de données (Annexe 7), ce sont des tests de Friedmann et d'ANOVA à mesures répétées qui ont été effectués afin d'établir ou non une significativité, selon les échantillons.

Test		Vitesse maximale (km/h)	
		Moyenne	Écart-type
S10	T1	23,95	$\pm 1,53$
	T2	23,55	$\pm 1,57$
	T3	23,63	$\pm 1,33$

Test		Décélération maximale (m/s ²)	
		Moyenne	Écart-type
505	T1	7,08	$\pm 0,83$
	T2	6,74	$\pm 0,75$
	T3	6,87	$\pm 0,97$
10-5 Plot	T1	6,69	$\pm 0,69$
	T2	6,74	$\pm 0,54$
	T3	6,96	$\pm 0,86$

Figure 8 : Présentation des moyennes et écarts-types des différents tests

Concernant le test S10, la vitesse maximale moyenne n'a pas significativement évolué au cours du protocole ($p : 0,4503 > 0,05$, cf. Annexe 8), avec une taille d'effet faible entre T1 et T2 (d de Cohen : 0,26, respectivement $23,95 \pm 1,53$ et $23,55 \pm 1,57$), très faible entre T2 et T3 (d de Cohen : 0,05, respectivement $23,55 \pm 1,57$ et $23,63 \pm 1,33$) et fiable entre T1 et T3 (d de Cohen : 0,22, respectivement $23,95 \pm 1,53$ et $23,63 \pm 1,33$).

Sur le même principe, la décélération maximale moyenne des tests 505 n'a pas significativement évolué au cours du protocole ($p : 0,1875 > 0,05$). La taille d'effet est relativement moyennement faible entre T1 et T2 (d de Cohen : 0,43, respectivement $7,08 \pm 0,83$ et $6,74 \pm 0,75$), faible entre T2 et T3 (d de Cohen : 0,15 pour des moyennes à $6,74 \pm 0,75$ et $6,87 \pm 0,97$) et faible entre T1 et T3 (d de Cohen : 0,23, $7,08 \pm 0,83$ et $6,87 \pm 0,97$).

Enfin, la décélération maximale moyenne des tests 10-5 Plot n'a pas non plus significativement évolué au cours du protocole ($p : 0,1353 > 0,05$) malgré des tailles d'effet très faible entre T1 et T2 (d de Cohen : 0,08, respectivement $6,69 \pm 0,69$ et $6,74 \pm 0,54$), faible à moyennement faible entre T2 et T3 (d de Cohen : 0,31 pour des moyennes à $6,74 \pm 0,54$ et $6,96 \pm 0,86$) ainsi que moyennement faible entre T1 et T3 (d de Cohen : 0,35, $6,69 \pm 0,69$ et $6,96 \pm 0,86$)

VI. DISCUSSION

6.1. Interprétation

L'analyse des résultats met en évidence quelques points intéressants, bien que non significatifs d'un point de vue statistique. Les valeurs initiales de décélération maximale (T1) du test 505 sont globalement plus élevées que celles observées en T3, tandis que les valeurs de T2 apparaissent inférieures aux deux autres. Cette évolution semble suivre la tendance des vitesses maximales enregistrées, avec également des valeurs plus hautes en T1, un creux en T2 et une remontée en T3. Cette corrélation pourrait s'expliquer par la relation directe entre la vitesse d'approche et la capacité de freinage : plus la vitesse est élevée, plus la décélération sera importante pour une même distance donnée.

Néanmoins, il est intéressant de noter que, contrairement au test 505, la moyenne des décélérations sur le test 10-5 Plot présente une légère pente ascendante, avec une amélioration progressive des valeurs de T1 à T3. Bien que cette augmentation ne soit pas significative, elle montre tout de même une tendance positive, soutenue par des tailles d'effet supérieures, toutes deux moyennement faibles entre T2 et T3 (d de Cohen = 0,31) et entre T1 et T3 (d de Cohen = 0,35). Cette dissociation progressive pourrait traduire un gain spécifique dans la capacité à freiner indépendamment de la vitesse d'approche. L'alliance de cette progression avec les tailles d'effet faibles sur les tests 505 suggèrerait ainsi un transfert partiel du protocole vers la qualité ciblée, en raison du protocole excentrique dans l'axe. Évidemment, cette interprétation nécessite des investigations complémentaires en raison de l'absence de significativité pour confirmer cette hypothèse.

6.2. Comparaison avec la littérature existante

Plusieurs études récentes ont cherché à quantifier les performances maximales de décélération en sports collectifs, en utilisant des protocoles de sprint suivis d'un arrêt complet. Harper et al. (2020) ont ainsi mesuré la décélération maximale de 38 athlètes universitaires issus de divers sports collectifs (football, rugby, netball) lors d'un sprint de 20 m suivi d'un freinage, obtenant une valeur d'environ $8,5 \text{ m/s}^2$ grâce à un radar. Philipp et al. (2024) ont comparé un test de décélération linéaire (ADA) sur 10 m et le test 505 chez 19 joueurs amateurs (~ 21 ans) équipés d'IMU Xsens, obtenant une décélération horizontale moyenne de $4,1 \pm 0,3 \text{ m/s}^2$ lors du 505 (contre $3,3 \pm 0,3 \text{ m/s}^2$ pour l'ADA). Silva et al. (2022) ont, quant

à eux, évalué 20 footballeurs masculins (âge moyen $21,6 \pm 2,0$ ans, ~8,7 ans de pratique) lors d'un test 505 et ont rapporté une décélération maximale moyenne d'environ $2,8\text{--}2,9 \text{ m/s}^2$. En utilisant un protocole proche de notre test 10-5 Plot, Harper et al. (2023) ont standardisé la mesure de décélération horizontale via un sprint de 20 m suivi d'une marche arrière immédiate, obtenant des valeurs situées entre $4,40 \text{ m/s}^2$ et $4,50 \text{ m/s}^2$ avec un radar. Sur un protocole similaire, Chen et al. (2024) ont évalué 18 athlètes d'université américaine : les décélérations sur 20 m étaient en moyenne de $4,21$ et $4,12 \text{ m/s}^2$, tandis que celles sur 10 m atteignaient $4,55$ et $4,58 \text{ m/s}^2$.

Avec des valeurs moyennes situées en $6,69 \text{ m/s}^2$ et $7,08 \text{ m/s}^2$, nos résultats s'inscrivent dans un entre-deux en comparaison des valeurs de la littérature existante. Seules les valeurs de l'étude d'Harper et al. (2020) sont supérieures. Se pose alors la question de la fiabilité du protocole. Cependant, les valeurs relevées sont bien cohérentes avec celles mesurées en situation de compétition par ce même modèle de GPS (moyenne de l'équipe située à $6,61 \text{ m/s}^2$ sur toutes les mesures de la saison). Parmi les autres facteurs de variation possibles, on retrouve la population testée et surtout l'outil de mesure. En effet, les mesures de décélération maximale peuvent varier considérablement selon qu'elles soient obtenues par radar, par unités de mesure inertielle (IMU) ou par GPS. Les études utilisant des GPS en compétition rapportent généralement des valeurs de décélération maximales similaires aux nôtres, situées autour de 6 à 7 m/s^2 , ce qui reflète une intensité réaliste dans un contexte de jeu. En revanche, les études en laboratoire, souvent réalisées avec des radars ou des IMU, montrent des valeurs globalement plus faibles (par exemple, Silva et al., 2022, avec $2,8\text{--}2,9 \text{ m/s}^2$ lors d'un test 505) ou, au contraire, des valeurs très élevées comme chez Harper et al. (2020) avec $8,5 \text{ m/s}^2$ lors d'un sprint de 20 m suivi d'un freinage.

Cette variabilité importante souligne la nécessité d'études supplémentaires pour affiner la comparaison entre méthodes de mesure et protocoles, afin de mieux standardiser l'évaluation des capacités de décélération chez les footballeurs. Néanmoins, la proximité des résultats de test et de compétition confirme que les sprints courts suivis d'arrêts complets sont parmi les méthodes les plus efficaces pour évaluer la capacité de décélération horizontale, notamment lorsqu'ils sont réalisés dans un contexte réaliste de terrain. Cependant, les études actuelles se concentrent principalement sur des athlètes adultes en sports collectifs, laissant un vide sur les jeunes, les femmes ou d'autres sports (basket-ball, handball), ce qui limite la généralisation des résultats. Par ailleurs, il est important de nuancer ces observations en tenant compte de la diversité des protocoles d'entraînement : des programmes plus longs, plus intenses ou utilisant du matériel spécifique (par exemple, plateformes de force) pourraient potentiellement conduire à des améliorations plus significatives des capacités de décélération.

6.3. Analyse des facteurs ayant influencé les performances

6.3.1 Hétérogénéité des groupes d'entraînement

Parmi les facteurs pouvant expliquer le manque de significativité des résultats, l'hétérogénéité des groupes d'entraînement, en termes de composition, de niveau de pratique et d'engagement, constitue une variable importante. Par exemple, Takei et al. (2025) ont montré que ~20 % des sprinteurs d'élite n'avaient aucun gain de performance après un protocole identique. De plus, la présence d'athlètes de niveaux très différents dans le même groupe peut masquer les effets du protocole (effet « plafond » chez les plus forts, progrès plus marqués chez les plus faibles). En effet, les joueurs retenus pour l'analyse finale proviennent de différents sous-groupes d'entraînement en fonction des rotations ou des contraintes organisationnelles. De nombreux joueurs n'ont pas effectué toutes les séances du protocole d'entraînement, en raison de rotations internes au club selon les besoins des différentes équipes, ou tout simplement des absences à l'entraînement. Cette diversité a pu générer des écarts dans la progression individuelle, certains joueurs bénéficiant d'un suivi plus spécifique ou d'un encadrement mieux adapté. De plus, l'engagement et la rigueur des joueurs lors des séances ont pu varier en fonction des dynamiques de groupe ou de la perception de l'importance des exercices proposés.

6.3.2 Contexte du test

Le fait de connaître à l'avance la distance de freinage (ex. 10 m vs 20 m) ou l'angle de changement de direction (505 COD) peut influencer la manière de ralentir en amenant une anticipation. Bien que les sujets sachent où s'arrêter et tourner, le critère de la vitesse d'approche fixée à un minimum de 90% de sa vitesse maximale sur la même distance permet de compenser cette limite. Quand bien même, peu d'études montrent un impact clair de la conscience du protocole sur la performance. Ferraz et al. (2016) ont testé des joueurs de foot et rapporté qu'indiquer ou non la durée d'une séance d'effort n'a pas modifié ni la vitesse de frappe de balle ni la précision. Dans un contexte de match ou lors d'un COD imprévu, la décélération maximale pourrait être plus élevée ou plus faible, selon la capacité de réaction du sujet. Le type de surface (gazon naturel vs synthétique, par exemple) et l'adhérence peuvent moduler la capacité à freiner efficacement. Nédélec et al. (2013) ont comparé les réactions physiques après une simulation de match sur herbe naturelle ou sur gazon synthétique. Ils ont constaté que 48 h après l'exercice, le saut en contre-mouvement (SJ) était significativement moins dégradé sur herbe qu'en synthétique – la chute de performance était en moyenne +3,7 % plus élevée sur synthétique.

Dans notre cas, la réalisation des tests et du protocole sur gazon synthétique peut éventuellement porter préjudice quant à la comparaison avec la littérature existante. L'intensité des procédés mis en place en amont des phases de test ou d'entraînement n'était pas non plus contrôlée, ajoutant des incertitudes supplémentaires quant à la fatigue nerveuse ou musculaire du sujet lors de la réalisation des différentes phases du protocole. Ferraz et al. (2016) ont également soumis des footballeurs à un circuit de fatigue (sprints et changements de direction) : dès un seul circuit, la vitesse maximale de frappe de balle a chuté significativement ($F=11.6$, $p<0.001$, $\eta^2=0.39$). Ceci illustre que même une épreuve de courte durée (quelques minutes) peut induire une baisse mesurable (de l'ordre de plusieurs % de perte de vitesse).

6.3.3 Coupure avant T3

La période de coupure d'une semaine avant la troisième phase de test (T3) a pu constituer un facteur défavorable dans le maintien des acquis physiques. Cette interruption, survenue pour des raisons logistiques, de calendrier et de gestion de fatigue après la 6^e semaine d'entraînement, a pu entraîner une perte partielle des adaptations neuromusculaires développées au cours de l'intervention. Cependant, plusieurs études indiquent qu'une courte période sans entraînement (quelques jours à quelques semaines) n'entraîne pas de perte majeure des adaptations neuromusculaires et peut parfois améliorer certaines qualités. Pereira et al. (2020) ont observé chez 24 footballeurs U20 qu'une coupure de 26 jours (≈ 4 semaines) a même augmenté la détente verticale (+1,31 cm, +3,7 %, $p=0.02$) sans dégrader la vitesse sur 10 m ni la force maximale (1RM leg-press). Autrement dit, après presque un mois sans entraînement spécifique, les joueurs sautaient plus haut (sans doute grâce à la récupération nerveuse) et conservaient leur force et leur vitesse. D'autres travaux vont dans le même sens : Loturco et al. (2017) n'ont pas observé de baisse du CMJ après 4 semaines de repos chez des seniors de haut niveau (données citées dans Pereira et al.). Ces résultats suggèrent qu'une interruption d'entraînement de l'ordre d'une semaine ne devrait pas induire de perte significative : elle peut au contraire permettre une forme de surcompensation.

6.3.4 Dimension psychologique, état et motivation de l'athlète

Enfin, la motivation des joueurs au moment des tests a pu influencer les performances observées. Une étude publiée dans *The Sport Journal* par Jeffrey C et al. (2020) a examiné l'impact de la présence d'un coacteur sur les performances physiques. Les résultats ont montré que la présence d'un coacteur entraînait des sprints plus rapides, avec des améliorations allant de 1,2 % à 4 % par rapport aux performances en solo. Ces résultats suggèrent que la compétition directe peut stimuler des performances supérieures. L'implication des athlètes peut également varier en fonction de la période de la saison, du contexte compétitif ou encore des résultats récents de l'équipe. Une dynamique sportive positive peut

stimuler l'engagement lors des évaluations, tandis que des résultats décevants ou des tensions internes peuvent au contraire générer un manque de détermination. Un athlète fatigué ou peu motivé peut sous-estimer la demande de freinage maximal, tandis qu'un sujet stimulé (par des instructions ou un enjeu compétitif) atteindra probablement des valeurs plus élevées. Dans notre cas, la relégation précoce de l'équipe a mis à mal la motivation externe des joueurs de l'équipe, de par l'impossibilité d'atteindre les objectifs sportifs de la saison. De plus, la répétition des tests et des séances d'entraînement, combinée à l'anticipation de résultats stables ou peu évolutifs, peut entraîner une forme de lassitude qui impacte l'intensité déployée lors des évaluations.

6.4. Limites du protocole mis en œuvre

Malgré la rigueur méthodologique appliquée, plusieurs limites doivent être prises en compte pour interpréter les résultats de manière objective.

L'utilisation d'un échantillon unique restreint la généralisation des résultats à d'autres niveaux de pratique, catégories d'âge ou contextes sportifs. La taille réduite de l'échantillon ($N = 14$) constitue une limite importante, diminuant la probabilité d'obtenir des résultats statistiquement significatifs. En effet, comme le soulignent Abt et al. (2020), une taille d'échantillon inadéquate compromet la puissance statistique et la validité externe des conclusions, rendant plus difficile la détection d'un effet réel même si celui-ci existe. Par ailleurs, la réalisation des tests en extérieur expose le protocole aux aléas météorologiques, constituant ainsi une variable difficile à contrôler. Les variations de température, de pluie ou de vent peuvent générer des forces de résistance plus ou moins importantes, forçant le sujet à déployer plus ou moins de force pour un même résultat. En outre, la précision du marquage au sol représente également une limite notable. Le recours aux coupelles pour délimiter les zones de décélération et les points de freinage peut entraîner des approximations. Une légère variation dans le placement des coupelles peut fausser la mesure de la distance parcourue et, par conséquent, la valeur de décélération maximale calculée, ce qui peut biaiser la comparaison entre les différentes phases de tests.

Ainsi, bien que les résultats obtenus fournissent des indications intéressantes sur les capacités de décélération des joueurs, il est essentiel de tenir compte de ces limites pour nuancer les conclusions et envisager des améliorations pour de futures recherches.

6.5. Perspectives pratiques

Plusieurs pistes sont envisageables pour l'application pratique et la recherche future. L'augmentation de l'effectif de sujets testés permettrait d'affiner les analyses statistiques afin d'obtenir une potentielle significativité. La latéralité de l'athlète devrait également être prioritairement prise en compte : le test 505 peut être réalisé à droite et à gauche pour évaluer un éventuel déficit unilatéral de freinage, ce qui est important dans la pratique sportive du football. En restant sur cette latéralité, une adaptation du travail en excentrique ou pliométrique latérale serait très intéressante, les efforts réalisés correspondant davantage à la demande physiologique d'un changement de direction en football. Bien que l'analyse des résultats ne démontre pas de progression significative, on note tout de même une augmentation des valeurs moyennes sur le test 10-5 Plot, représentant une décélération frontale. Le fait d'effectuer un protocole de renforcement dans l'axe de course et de décélération du test 10-5 Plot pourrait être un début d'explication, d'où l'intérêt d'effectuer un travail latéral pour correspondre davantage au test 505. Dans tous les cas, si du matériel adéquat est à disposition, il serait pour l'instant plus judicieux de se tourner vers du travail lesté ou sur machine pour améliorer les capacités excentriques et donc de décélération des joueurs.

Au niveau du protocole, il serait également intéressant de recueillir les retours des joueurs sur leur ressenti du test (difficulté, stress de l'arrêt, déséquilibre) afin d'affiner l'explication de l'exercice et d'améliorer la technique. Enfin, le croisement des données est essentiel : il faudrait corrélérer la décélération mesurée avec d'autres indicateurs (force excentrique en saut, temps, performance au test de COD classique, performance en accélération) pour construire un profil complet de l'athlète. Ces croisements pourraient aider à individualiser les seuils de surveillance pour la charge de freinage et à orienter les programmes d'entraînement vers un renforcement excentrique ou une amélioration technique ciblée.

VII. CONCLUSION

Ce mémoire visait à évaluer l'impact d'un programme d'entraînement à poids de corps sur les capacités de décélération chez des joueurs de football U19 évoluant en contexte amateur. À travers une approche pragmatique et accessible, basée sur des exercices simples et reproductibles, ce travail a permis d'explorer l'efficacité d'une méthode d'entraînement appliquée à une population jeune et engagée dans une pratique compétitive.

Les résultats obtenus montrent une légère amélioration des performances médianes en décélération après l'intervention, bien que cette progression reste statistiquement non significative. Les analyses ont mis en évidence une grande variabilité interindividuelle, suggérant que certains joueurs ont progressé tandis que d'autres ont stagné ou régressé. Cette hétérogénéité, combinée aux limites méthodologiques identifiées (hétérogénéité des groupes d'entraînement, coupure avant T3, facteurs psychologiques), souligne la nécessité de diversifier les outils de mesure et d'exécuter une seconde fois le protocole dans un environnement plus stable.

En comparaison avec la littérature, les valeurs de décélération observées sont globalement plus élevées que celles généralement rapportées dans les études antérieures, notamment celles utilisant des systèmes GPS en contexte de compétition. Cette différence pourrait être expliquée par la méthode de mesure employée. Toutefois, les résultats obtenus sont cohérents avec des valeurs observées dans des contextes similaires, confirmant la pertinence d'une évaluation de la décélération à travers des tests spécifiques.

Au-delà des résultats obtenus, cette recherche ouvre des perspectives intéressantes pour les entraîneurs et préparateurs physiques. L'utilisation d'exercices de renforcement excentrique et de pliométrie semble prometteuse pour le développement des capacités de freinage, mais nécessite un encadrement rigoureux et une planification adaptée pour garantir une progression optimale. Pour de futures recherches, il serait pertinent d'augmenter l'échantillon, d'intégrer d'autres catégories d'âge et de tester l'impact de programmes plus longs ou plus intensifs.

En somme, ce mémoire apporte une contribution utile à la compréhension des capacités de décélération chez les jeunes footballeurs évoluant en contexte amateur. En développant des stratégies d'entraînement accessibles et basées sur des exercices spécifiques, il propose des solutions pratiques pour améliorer les performances tout en réduisant les risques de blessures.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

Abt, Grant, Colin Boreham, Gareth Davison, Robin Jackson, Alan Nevill, et Mark Williams. « Power, precision, and sample size estimation in sport and exercise science research ». *Journal of Sports Sciences* 38 (19 juin 2020). <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1776002>.

Academy, U. S. Sports. « The Effects of Competitive Orientation on Performance in Competition ». *The Sport Journal* (blog), 21 février 2020. <https://thesportjournal.org/article/the-effects-of-competitive-orientation-on-performance-in-competition/>.

Akenhead, Richard, Philip R. Hayes, Kevin G. Thompson, et Duncan French. « Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play ». *Journal of Science and Medicine in Sport* 16, n° 6 (1 novembre 2013): 556-61. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.005>.

Akyuz, Cem, et Asiye Filiz Camliguney. « The Impact of 8-Week Deceleration Training on Dynamic Balance Skills of Young Soccer Players ». *Journal of Educational Issues* 6, n° 1 (2020): 383-94.

Aloui, Ghaith, Hermassi Souhail, Lawrence D. Hayes, El Ghali Bouhafs, Mohamed Souhaiel Chelly, et René Schwesig. « Effects of Combined Plyometric and Short Sprints Training on Athletic Performance of Male U19 Soccer Players ». *Frontiers in Psychology* 12 (15 septembre 2021). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.714016>.

« Assessing the Speed Qualities of the 360° Team Sport Athlete - Science of Multi-Directional Speed », 14 octobre 2023. <https://sciofmultispeed.com/assessing-speed-qualities-of-the-360-team-sport-athlete/>.

Bloomfield, Jonathan, Remco Polman, et Peter O'Donoghue. « Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer », s. d.

Chen, Zhili, Mengde Lyu, Mingyue Yin, Shengji Deng, Chris Bishop, Damian Harper, Boyi Dai, et Yongming Li. « Test-Retest Reliability and Sensitivity of Kinematic and Kinetic Metrics Measured from Horizontal Deceleration Ability Tests with Different Sprinting Distances ». *Journal of Human Kinetics*, 6 décembre 2024. <https://doi.org/10.5114/jhk/189659>.

Clarke, Richard, Paul J. Read, Mark B.A. De Ste Croix, et Jonathan D. Hughes. « The Deceleration Deficit: A Novel Field-Based Method to Quantify Deceleration During Change of Direction Performance ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 36, n° 9 (septembre 2022): 2434-39. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003856>.

Conde-Pipó, Javier, Guilherme De Sousa Pinheiro, David Fombella Pombal, Luis Mosquera Toscano, Juan Esteban Gomez Llamas, Jose Maria Cruz Gallardo, Bernardo Requena, et Miguel Mariscal-Arcas. « Investigating Acceleration and Deceleration Patterns in Elite Youth Football: The Interplay of Ball Possession and Tactical Behavior ». *Applied Sciences* 14, n° 10 (20 mai 2024): 4336. <https://doi.org/10.3390/app14104336>.

Dong, Kuan, Guyeol Jeong, et Buongo Chun. « The Effects of Different Training Interventions on Soccer Players' Sprints and Changes of Direction: A Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials ». *Applied Sciences* 13, n° 1 (janvier 2023): 446. <https://doi.org/10.3390/app13010446>.

« Effect of an Eccentric Overload and Small-Side Games Training in Training Accelerations and Decelerations ». *Journal of Physical Education and Sport* 21, n° 6 (s. d.).

Ekstrand, Jan, Martin Hägglund, et Markus Waldén. « Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer) ». *The American Journal of Sports Medicine* 39, n° 6 (juin 2011): 1226-32. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>.

Gatorade Sports Science Institute. « SSE #125: Besoins physiologiques des joueurs de soccer ». Consulté le 11 janvier 2025. http://www.gssiweb.org:80/fr-ca/article/sse125frca?utm_source=chatgpt.com.

Gualtieri, Antonio, Ermanno Rampinini, Antonio Dello Iacono, et Marco Beato. « High-Speed Running and Sprinting in Professional Adult Soccer: Current Thresholds Definition, Match Demands and Training Strategies. A Systematic Review ». *Frontiers in Sports and Active Living* 5 (13 février 2023). <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1116293>.

Harper, Damian, Chris Cervantes, Matt Van Dyke, Martin Evans, Alistair McBurnie, Tom Dos' Santos, Ola Eriksrud, et al. « The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports ». *International Journal of Strength and Conditioning* 4, n° 1 (13 septembre 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>.

Harper, Damian J., Christopher Carling, et John Kiely. « High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies ». *Sports Medicine* 49, n° 12 (décembre 2019): 1923-47. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>.

Harper, Damian J., Alastair R. Jordan, et John Kiely. « Relationships Between Eccentric and Concentric Knee Strength Capacities and Maximal Linear Deceleration Ability in Male Academy Soccer Players ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 35, n° 2 (février 2021): 465-72. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002739>.

Harper, Damian J., Jean-Benoit Morin, Christopher Carling, et John Kiely. « Measuring Maximal Horizontal Deceleration Ability Using Radar Technology: Reliability and Sensitivity of Kinematic and Kinetic Variables ». *Sports Biomechanics* 22, n° 9 (2 septembre 2023): 1192-1208. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1792968>.

Harper, Damian James, et John Kiely. « Damaging Nature of Decelerations: Do We Adequately Prepare Players? ». *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 4, n° 1 (août 2018): e000379. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000379>.

Hewitt, Jennifer, John Cronin, Chris Button, et Patria Hume. « Understanding Deceleration in Sport ». *Strength & Conditioning Journal* 33, n° 1 (février 2011): 47. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181fbd62c>.

Hoyo, Moisés de, Marco Pozzo, Borja Sañudo, Luis Carrasco, Oliver Gonzalo-Skok, Sergio Domínguez-Cobo, et Eduardo Morán-Camacho. « Effects of a 10-Week In-Season Eccentric-Overload Training Program on Muscle-Injury Prevention and Performance in Junior Elite Soccer Players ». *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10, n° 1 (1 janvier 2015): 46-52. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2013-0547>.

Kai, Tomohiro, Shin Hirai, Yuhei Anbe, et Yohei Takai. « A New Approach to Quantify Angles and Time of Changes-of-Direction during Soccer Matches ». Édité par Filipe Manuel Clemente. *PLOS ONE* 16, n° 5 (17 mai 2021): e0251292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251292>.

Kobal, Ronaldo, Lucas A. Pereira, Vinicius Zanetti, Rodrigo Ramirez-Campillo, et Irineu Loturco. « Effects of Unloaded vs. Loaded Plyometrics on Speed and Power Performance of Elite Young Soccer Players ». *Frontiers in Physiology* 8 (2017): 742. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00742>.

Kotsifaki, Argyro, Vasileios Korakakis, Philip Graham-Smith, Vasileios Sideris, et Rod Whiteley. « Vertical and Horizontal Hop Performance: Contributions of the Hip, Knee, and Ankle ». *Sports Health* 13, n° 2 (1 mars 2021): 128-35. <https://doi.org/10.1177/1941738120976363>.

Martínez-Hernández, David, Mark Quinn, et Paul Jones. « Linear advancing actions followed by deceleration and turn are the most common movements preceding goals in male professional soccer ». *Science and Medicine in Football* 7, n° 1 (2 janvier 2023): 25-33. <https://doi.org/10.1080/24733938.2022.2030064>.

Marvin, Louise, Paul Read, Blake McLean, Sam Palmer, et Job Fransen. « Training Interventions for Improved Deceleration Ability in Adult Team-Based Field Sports Athletes ». *International Journal of Strength and Conditioning* 4, n° 1 (11 juin 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.313>.

McBurnie, Alistair J., Damian J. Harper, Paul A. Jones, et Thomas Dos'Santos. « Deceleration Training in Team Sports: Another Potential ‘Vaccine’ for Sports-Related Injury? ». *Sports Medicine (Auckland, N.z.)* 52, n° 1 (2022): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01583-x>.

Nédélec, Mathieu, Alan McCall, Chris Carling, Franck Le Gall, Serge Berthoin, et Grégory Dupont. « Physical Performance and Subjective Ratings after a Soccer-Specific Exercise Simulation: Comparison of Natural Grass versus Artificial Turf ». *Journal of Sports Sciences* 31, n° 5 (2013): 529-36. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.738923>.

Pereira, Lucas, Tomás Freitas, Bruno Pivetti, Pedro Alcaraz, Ian Jeffreys, et Irineu Loturco. « Short-Term Detraining Does Not Impair Strength, Speed, and Power Performance in Elite Young Soccer Players ». *Sports* 8 (25 octobre 2020). <https://doi.org/10.3390/sports8110141>.

Poli, Drs Raffaele. « Analyse des distances couvertes dans les compétitions professionnelles de football », s. d.

Silva, Hugo, Fábio Yuzo Nakamura, Marco Beato, et Rui Marcelino. « Acceleration and deceleration demands during training sessions in football: a systematic review ». *Science and Medicine in Football* 7, n° 3 (3 juillet 2023): 198-213. <https://doi.org/10.1080/24733938.2022.2090600>.

Takei, Naoya, Ryuji Muraki, Olivier Girard, et Hideo Hatta. « Inter-Individual Variability in Performance Benefits from Repeated Sprint Training in Hypoxia and Associated Training Parameters ». *Frontiers in Sports and Active Living* 7 (15 avril 2025): 1524437. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1524437>.

Varley, Matthew C., Fairweather , Ian H., et 2 and Aughey1 Robert J. « Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion ». *Journal of Sports Sciences* 30, n° 2 (1 janvier 2012): 121-27. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.627941>.

Waldén, Markus, Martin Hägglund, Henrik Magnusson, et Jan Ekstrand. « Anterior Cruciate Ligament Injury in Elite Football: A Prospective Three-Cohort Study ». *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA* 19, n° 1 (janvier 2011): 11-19. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1170-9>.

Zhang, Qingshan. « Influence des capacités neuromusculaire des muscles du genou sur les performances explosives et le risque de blessure chez les footballeurs ». These de doctorat, Lyon, 2021. <https://theses.fr/2021LYSE1129>.

Harper, Damian. « How to Measure Horizontal Deceleration Capabilities ». *Sportsmith* (blog). Consulté le 12 janvier 2025. <https://www.sportsmith.co/articles/measuring-deceleration-capabilities/>.

« International Football Association Board | Laws of the Game | IFAB ». Consulté le 11 janvier 2025. <https://www.theifab.com/fr/>.

Zouhal, Hassane, S Coppalle, G Rave, G Dupont, Jan Troost, C Tourny, et S Ahmaidi. « Football de Haut-Niveau : Analyses Physique et Physiologique – Blessures et Prévention », s. d.

IX. ANNEXES

Annexe 1 : Tableau complet des données anthropométriques

Joueur	Poste	Age (années)	Taille (cm)	Poids (kg)
Joueur 1	D	18	187	76,5
Joueur 2	D	17	170	64,1
Joueur 3	A	18	178	75
Joueur 4	A	18	173	68
Joueur 5	M	18	173	64,6
Joueur 6	M	19	173	71,5
Joueur 7	D	18	177	76,7
Joueur 8	D	18	180	64
Joueur 9	A	18	180	78
Joueur 10	M	18	172	60,7
Joueur 11	M	17	179	73
Joueur 12	M	19	180	69,3
Joueur 13	D	17	178,5	71,8
Joueur 14	D	18	174	68,9
Joueur 15	A	17	175	57
Joueur 16	A	18	186	83
Joueur 17	A	17	185	65,5
Joueur 18	D	18	190	90
Joueur 19	M	18	178	75
Joueur 20	M	18	172	69
Joueur 21	D	18	181	70,4
Joueur 22	D	17	177	73,7
Joueur 23	D	17	183	72,6

Annexe 2 : Protocole d'entraînement

Thème :
Protocole

SEANCE PROTOCOLE

Durée :
15'

ECHAUFFEMENT - ROUTINE (10')

MOBILISATION	ACTIVATION	INTEGRATION
Ouverture - fermeture adducteurs	Montée de genoux	Pas diago avant - arrière
Levé de jambes avant - arrière	Talons-fesses	Jeu via séance
Squat profond	Pas chassés	
	Détente verticale	
	Coursez arrière	

CORPS DE SEANCE (15')

EXERCICE N°1	IMAGE	POINTS CLES	SERIES	REPETITIONS	CHARGE	TEMPO
Sissy Squat		Pieds largeur d'épaule, bascule arrière Genoux vers l'avant, sur pointe de pied Gainer abdos et fessiers (planche)	Selon semaine	Selon semaine	X	3-0-1-0
TEMPS DE RECUPERATION						
		1 min (alternance superset avec binôme de travail : travailleur - pareur)				

Superset du Mardi

EXERCICE N°2	IMAGE	POINTS CLES	SERIES	REPETITIONS	CHARGE	TEMPO
Nordic Hamstring		Sur genoux, chevilles bloquées au sol Gainer abdos et fessiers Contrôler la bascule en avant	Selon semaine	Selon semaine	X	3-0-0-0
TEMPS DE RECUPERATION						
		1 min (alternance superset avec binôme de travail : travailleur - pareur)				

EXERCICE N°3	IMAGE	POINTS CLES	SERIES	REPETITIONS	CHARGE	TEMPO
Saut de haie unilatéral avant		Sur un pied, saut entre les haies Interdiction de pause durant le passage (G puis D) Moins de temps de contact au sol possible	Selon semaine	Selon semaine	X	X
TEMPS DE RECUPERATION						
		2 min				

Superset du Jeudi

EXERCICE N°4	IMAGE	POINTS CLES	SERIES	REPETITIONS	CHARGE	TEMPO
Drop jumps modifiés		Départ sur box, pied en avant Se laisser tomber pied joint, minimum de temps de contact au sol Rebondir le plus haut possible sans poser les talons	Selon semaine	Selon semaine	X	X
TEMPS DE RECUPERATION						
		2 min				

LUTZ Julien-Frédéric

Annexe 3 : Résultats des tests 505

Anthropométrie					505			Variations		
Joueur	Poste	Age	Taille	Poids	T1	T2	T3	505		
					Décelération max (m/s²)	Décelération max (m/s²)	Décelération max (m/s²)	Variation T1-T2	Variation T2-T3	
Joueur 7	D	18	187	76,5	8,27	6,92	8,74	-16,29%	26,33%	5,75%
Joueur 15	A	18	178	75	8,86	7,82	7,85	-11,74%	0,38%	-1,40%
Joueur 1	M	18	173	64,6	6,86	6,82	7,35	-0,65%	7,82%	7,12%
Joueur 2	M	19	173	71,5	6,69	7,04	7,13	5,26%	1,37%	6,70%
Joueur 9	D	18	177	76,7	6,71	6,72	6,90	0,13%	2,67%	2,80%
Joueur 17	A	18	180	78	6,41	4,83	5,09	-24,61%	5,44%	-20,51%
Joueur 3	M	18	172	60,7	6,62	5,94	5,20	-10,16%	-12,51%	-21,40%
Joueur 23	M	17	179	73	6,19	5,90	6,12	-4,83%	3,84%	-1,17%
Joueur 4	M	19	180	69,3	7,63	7,33	7,70	-3,95%	5,02%	0,87%
Joueur 10	D	17	178,5	71,8	7,64	7,27	7,07	-4,86%	-2,83%	-7,56%
Joueur 20	A	18	186	83	6,38	6,79	6,73	6,41%	-0,79%	5,58%
Joueur 12	D	18	190	90	7,24	7,28	6,89	0,51%	-5,34%	-4,86%
Joueur 6	M	18	172	69	7,57	6,61	7,06	-12,72%	6,84%	-6,75%
Joueur 13	D	18	181	70,4	6,03	7,09	6,33	17,64%	-10,69%	5,07%
W					0,92971	0,89209	0,95486			
p					0,30231	0,08663	0,6384			
Moyenne		18,00	179,04	73,5	7,08	6,74	6,87	-4,27%	1,97%	-2,84%
Ecart-type		0,6	5,7	7,3	0,83	0,75	0,97	10,60%	9,34%	9,68%
Variance					0,68	0,57	0,95			
Anova					0,1875					
Friedmann										
D de Cohen									0,43	0,15
Taille d'effet									Moyennement faible	Faible
									Faible	Faible

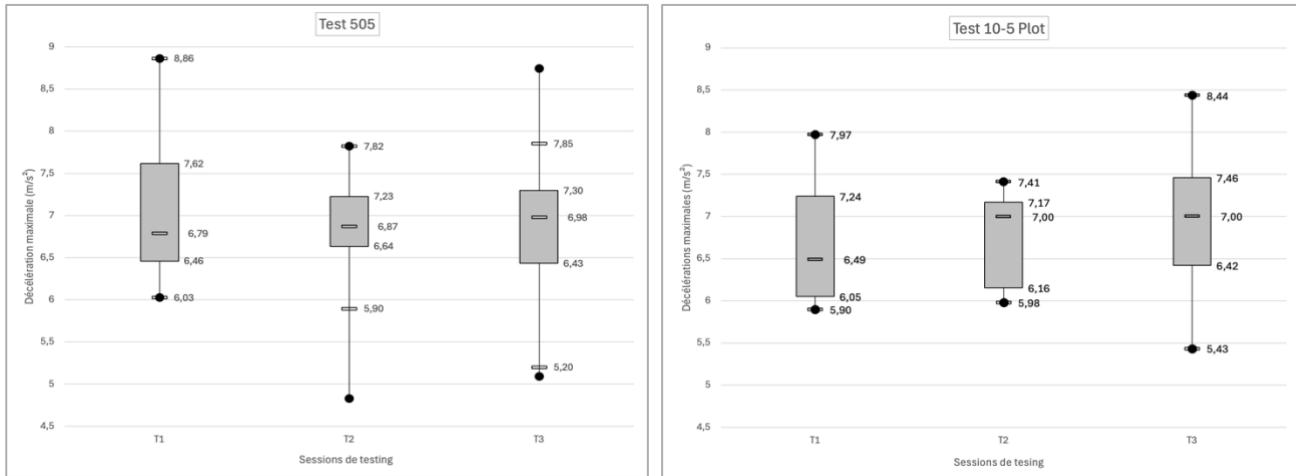
Annexe 4 : Résultats des tests 10-5 Plot

Anthropométrie					10-5 Plot			Variations		
Joueur	Poste	Age	Taille	Poids	T1	T2	T3	10-5 Plot		
					Décelération max (m/s²)	Décelération max (m/s²)	Décelération max (m/s²)	Variation T1-T2	Variation T2-T3	
Joueur 7	D	18	187	76,5	6,72	7,15	7,09	6,36%	-0,85%	5,46%
Joueur 15	A	18	178	75	6,41	7,01	7,23	9,34%	3,18%	12,82%
Joueur 1	M	18	173	64,6	7,70	7,19	7,66	-6,64%	6,45%	-0,62%
Joueur 2	M	19	173	71,5	6,03	7,17	7,53	19,00%	5,02%	24,97%
Joueur 9	D	18	177	76,7	7,38	7,41	8,44	0,44%	13,82%	14,32%
Joueur 17	A	18	180	78	7,29	6,61	7,24	-9,20%	9,46%	-0,61%
Joueur 3	M	18	172	60,7	6,11	6,02	5,43	-1,48%	-9,76%	-11,10%
Joueur 23	M	17	179	73	6,01	7,16	6,13	19,10%	-14,33%	2,03%
Joueur 4	M	19	180	69,3	6,49	7,24	6,92	11,51%	-4,34%	0,66%
Joueur 10	D	17	178,5	71,8	6,49	6,28	6,55	-3,29%	4,31%	0,88%
Joueur 20	A	18	186	83	5,90	6,11	6,51	3,66%	6,48%	10,38%
Joueur 12	D	18	190	90	6,03	6,05	6,39	0,25%	5,69%	5,96%
Joueur 6	M	18	172	69	7,97	6,99	8,36	-12,33%	19,53%	4,79%
Joueur 13	D	18	181	70,4	7,10	5,98	6,01	-15,74%	0,56%	-15,27%
W					0,90548	0,83868	0,97546			
p					0,13549	0,01565	0,9399			
Moyenne		18,00	179,04	73,5	6,69	6,74	6,96	1,50%	3,23%	4,33%
Ecart-type		0,6	5,7	7,3	0,69	0,54	0,86	10,78%	8,80%	10,12%
Variance					0,47	0,29	0,75			
Anova					0,1353					
Friedmann										
D de Cohen									0,08	0,31
Taille d'effet									Très faible	Faible
									Moyennement faible	

Annexe 5 : Résultats des tests S10

Anthropométrie					S10			Variations		
Joueur	Poste	Age	Taille	Poids	T1	T2	T3	S10		
					Vitesse max (km/h)	Vitesse max (km/h)	Vitesse max (km/h)	Variation T1-T2	Variation T2-T3	
Joueur 7	D	18	187	76,5	24,85	22,50	24,72	-9,47%	9,89%	-0,52%
Joueur 15	A	18	178	75	25,73	25,14	25,15	-2,30%	0,04%	-2,26%
Joueur 1	M	18	173	64,6	25,34	24,75	24,53	-2,31%	-0,90%	-3,19%
Joueur 2	M	19	173	71,5	24,21	23,34	23,63	-3,57%	1,23%	-2,38%
Joueur 9	D	18	177	76,7	26,20	26,20	24,98	0,00%	-4,64%	-4,65%
Joueur 17	A	18	180	78	24,24	23,74	22,51	-2,08%	-5,16%	-7,13%
Joueur 3	M	18	172	60,7	22,18	22,77	20,50	2,63%	-9,98%	-7,61%
Joueur 23	M	17	179	73	24,03	22,02	24,23	-8,39%	10,07%	0,83%
Joueur 4	M	19	180	69,3	23,66	25,52	24,98	7,84%	-2,13%	5,54%
Joueur 10	D	17	178,5	71,8	23,95	22,22	22,98	-7,25%	3,42%	-4,07%
Joueur 20	A	18	186	83	21,38	21,68	21,85	1,38%	0,77%	2,17%
Joueur 12	D	18	190	90	21,05	21,14	23,38	0,43%	10,60%	11,07%
Joueur 6	M	18	172	69	23,52	23,89	23,88	1,56%	-0,03%	1,53%
Joueur 13	D	18	181	70,4	24,99	24,85	23,50	-0,58%	-5,41%	-5,95%
W					0,93897	0,96348	0,91695			
p					0,40523	0,77975	0,19873			
Moyenne		18,00	179,04	73,5	23,95	23,55	23,63	-1,58%	0,55%	-1,19%
Ecart-type		0,6	5,7	7,3	1,53	1,57	1,33	4,63%	6,22%	5,15%
Variance					2,35	2,46	1,78			
Anova					0,4503					
Friedmann										
D de Cohen									0,26	0,05
Taille d'effet									Faible	Très faible
									Faible	

Annexe 6 : Boîtes à moustache



Annexe 7 : Tests de Normalité



Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de LEVENE utilisant les écarts à la MOYENNE

Cette option est n'est conseillée que si les distributions sont symétriques.
Dans le cas contraire, préférez la méthode de la feuille suivante, plus robuste.



Test de Levene sur les variances des groupes, utilisant les écarts à la moyenne

Sources	ddl	SCE	CM	F	p	F limite 5%	F limite à 1%
Traitements	2	0,664755	0,332377	0,45	0,6429	3,24	5,19
Résiduelle	39	29,01402	0,743949				
Total	41	29,67878					

Les variances ne sont pas significativement hétérogènes

Statistiques élémentaires

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5	Lot 6	Lot 7	L
Effectif	14	14	14					
Moyennes	23,95	23,55	23,63					
Médiennes	24,12	23,54	23,76					
Ecart types	1,534	1,567	1,334					
Variances	2,354	2,455	1,779					
Min	21,05	21,14	20,50					
Max	26,20	26,20	25,15					
Asymétrie	-0,63722	0,133395	-1,0379					

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1442
6	6,2129	6,033	-0,3670	-0,0739
7	6,1129	6,4889	-0,0881	-0,0240
8	6,0081	6,4921	0,0881	0,0240
9	6,4889	6,7201	0,2870	0,0729
10	6,4921	7,099	0,4550	0,1242
11	6,2129	7,2852	0,6008	0,1804
12	6,0081	7,3787	0,8994	0,2455
13	7,7038	7,7038	1,2053	0,3320
14	6,4098	7,9734	1,7076	0,5250

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour 3 ≤ N ≤ 500)

Index (I)	Data	Sorted	mi	ai
1	6,7201	5,8999	-1,7076	-0,5250
2	6,4098	6,0088	-1,2053	-0,3320
3	7,7038	6,0283	-0,8994	-0,2455
4	6,0283	6,033	-0,6646	-0,1804
5	7,3787	6,1129	-0,5500	-0,1

Annexe 8 : Tests statistiques

AnaStats
FORMATION - ETUDES - CONSEIL EN STATISTIQUES

ANOVA à une dimension pour mesures répétées (= appariées)

- Placer les données dans les cellules jaunes (pas plus de 100 individus ; pas plus de 15 répétitions)
- Observer le résultat dans la feuille ANOVA
- Vérifiez les conditions de validité dans la feuille ANOVA
N.B. La symétrie composée des covariances (= sphéricité) n'est pas évaluée.
- Observez le graphique dans la feuille "Graphique"

Attention : les effectifs dans chaque ligne doivent être égaux

Individus	Répétitions >>>														
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
S1	24,948	22,496	24,72												
S2	25,728	25,136	25,146												
S3	25,336	24,752	24,528												
S4	24,208	23,344	23,632												
S5	26,201	26,2	24,984												
S6	24,24	23,736	22,512												
S7	22,184	22,768	20,496												
S8	24,032	22,016	24,232												
S9	23,664	25,52	24,976												
S10	23,952	22,216	22,976												
S11	21,384	21,68	21,848												
S12	21,046	21,136	23,376												
S13	23,52	23,888	23,88												
S14	24,992	24,648	23,504												

AnaStats **Résultat de l'analyse de variance**

TABLEAU DE L'ANALYSE DE VARIANCE							
Sources	SCE	ddl	CM	F	F limite à 5%	F limite à 1%	p
Entre sujets	65,72	13					
Measures	1,26	2	0,63	0,82	3,37	5,53	0,45027
Erreur	19,92	26	0,77				
Total	86,91	41					

Le changement au cours des mesures n'est pas significatif

Homogénéité des variances des différentes mesures

test du Fmax **Les variances ne sont pas significativement hétérogènes**

Fmax = 1,38
F limite = 4,16

N.B. La symétrie composée des covariances (= sphéricité) n'est pas évaluée.

D'après HOWELL D.C., 1998. Méthodes statistiques en sciences humaines. De Boeck Université, Paris. 820 pp.

AnaStats
FORMATION - ETUDES - CONSEIL EN STATISTIQUES

ANOVA à une dimension pour mesures répétées (= appariées)

- Placer les données dans les cellules jaunes (pas plus de 100 individus ; pas plus de 15 répétitions)
- Observer le résultat dans la feuille ANOVA
- Vérifiez les conditions de validité dans la feuille ANOVA
N.B. La symétrie composée des covariances (= sphéricité) n'est pas évaluée.
- Observez le graphique dans la feuille "Graphique"

Attention : les effectifs dans chaque ligne doivent être égaux

Individus	Répétitions >>>														
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
S1	8,2867	6,9201	8,7423												
S2	8,8623	7,8223	7,8524												
S3	8,8623	6,8178	7,3512												
S4	8,6852	7,0371	7,1334												
S5	8,7101	6,7196	6,8978												
S6	8,4075	4,8306	5,0934												
S7	8,6154	5,9435	5,2												
S8	6,194	5,895	6,1213												
S9	7,6312	7,3297	7,6978												
S10	7,6445	7,2728	7,0667												
S11	6,3778	6,7887	6,7334												
S12	7,2445	7,2815	6,8926												
S13	7,5704	6,6075	7,0593												
S14	8,026	7,0889	6,3314												

AnaStats **Résultat de l'analyse de variance**

TABLEAU DE L'ANALYSE DE VARIANCE							
Sources	SCE	ddl	CM	F	F limite à 5%	F limite à 1%	p
Entre sujets	22,62	13					
Measures	0,82	2	0,41	1,79	3,37	5,53	0,18750
Erreur	5,98	26	0,23				
Total	29,40	41					

Le changement au cours des mesures n'est pas significatif

Homogénéité des variances des différentes mesures

test du Fmax **Les variances ne sont pas significativement hétérogènes**

Fmax = 1,68
F limite = 4,16

N.B. La symétrie composée des covariances (= sphéricité) n'est pas évaluée.

D'après HOWELL D.C., 1998. Méthodes statistiques en sciences humaines. De Boeck Université, Paris. 820 pp.

AnaStats
Test de Friedmann pour la comparaison non-paramétrique de k séries appariées (k<=15 séries appariées)

statistique non paramétrique cas où N = n1...n15 <100

Tableau des scores : ATTENTION : pas de valeur nulle dans les données. Remplacer éventuellement par 0,001

i	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
1	6,730	7,146	7,087												
2	6,409	7,008	7,230												
3	7,704	7,192	7,696												
4	6,821	7,002	7,002												
5	7,279	7,411	6,436												
6	7,285	6,015	7,241												
7	6,113	6,022	6,434												
8	6,006	7,156	6,130												
9	6,489	7,236	6,921												
10	6,492	6,279	6,992												
11	6,824	6,006	6,117												
12	6,031	6,046	6,280												
13	7,972	6,991	8,396												
14	7,099	6,982	6,015												

Le test de Friedmann pour séries appariées : indiquez le seuil de risque en G14

Valeur X^2r observée X^2r = 4,00

N = 14 = Nb de lignes de variance non nulle
k = 3 = Nb de colonnes
Nb lignes total = 14

nombre de degrés de liberté : nu = 2

Le test utilise l'approximation par la loi du X2

Hypothèses du test d'égalité des probabilités : H0 : les distributions sont les mêmes pour les k échantillons
H1 : les distributions varient entre les k échantillons

alpha = 5,00%
nu = 2

seuil au risque alpha : q(nu,alpha) = 5,99
règle de décision au risque alpha : 0—o-----*****

conclusion : on ne rejette pas l'hyp. d'égalité des distributions au risque 5,00%

degré de signification : alpha s = 13,53%

X. RESUME

Ce mémoire analyse l'efficacité d'un programme d'entraînement à poids de corps visant à développer les capacités de décélération chez des joueurs de football U19 évoluant en contexte amateur. Le protocole, fondé sur des exercices pliométriques et excentriques, a été appliqué sur une période de six semaines. L'évaluation de l'impact de l'intervention repose sur les tests 505 et 10-5 Plot, avec des données collectées via GPS, sous la condition d'atteindre 90 % de la vitesse maximale sur la distance.

Les résultats révèlent une taille d'effet moyennement faible concernant l'évolution des performances moyennes en décélération sur le test 10-5 Plot, sans différence statistiquement significative entre les différentes phases de mesure (T1, T2, T3). Cette tendance positive est nuancée par des tailles d'effet faibles pour l'évolution des performances sur le test 505.

Les principales limites de l'étude résident dans l'hétérogénéité des groupes d'entraînement et le contexte sportif de l'équipe. Pour approfondir ces résultats, il serait pertinent de mener de nouvelles recherches avec des effectifs plus importants, en intégrant un travail spécifique sur le plan latéral pour évaluer les transferts dans les changements de direction.

Mots clés : Décélération / Football / Excentrique / Pliométrie / GPS

XI. ABSTRACT

This study analyzes the effectiveness of a bodyweight training program aimed at developing deceleration abilities in U19 soccer players playing in an amateur context. The protocol, based on plyometric and eccentric exercises, was applied over a six-week period. Assessment of the intervention's impact was based on the 505 and 10-5 Plot tests, with data collected via GPS, under the condition of reaching 90% of maximum speed over the distance.

The results reveal a moderately low effect size for changes in average deceleration performance on the 10-5 Plot test, with no statistically significant difference between the different measurement phases (T1, T2, T3). This positive trend is offset by small effect sizes for the evolution of performance on the 505 test.

The main limitations of the study lie in the heterogeneity of the training groups and the team's sporting context. To investigate these results further, it would be useful to carry out further research with larger numbers, incorporating specific work on the lateral plane to assess transfers during changes of direction.

Keywords : Deceleration / Football / Eccentric / Pliometry / GPS

Trois compétences acquises :

- **Analyser et exploiter les données de performance** : Maîtriser l'usage d'outils technologiques tels que les capteurs GPS pour recueillir et analyser les données de décélération dans un contexte de football, afin de suivre l'évolution des capacités physiques des joueurs.
- **Concevoir des protocoles d'entraînement spécifiques** : Élaborer et mettre en œuvre des programmes d'entraînement axés sur la décélération, en tenant compte des contraintes du milieu amateur et en intégrant des exercices simples mais efficaces pour optimiser la performance.
- **Évaluer les résultats et proposer des améliorations** : Réaliser une analyse critique des données collectées, en prenant en compte les facteurs influençant la performance, et formuler des perspectives d'optimisation en fonction des résultats obtenus.