

Faculté des sciences de la motricité

Profil physique des footballeurs U15 élite en Belgique : identification des valeurs, comparaison des niveaux de jeu, influence du poste et relation avec la maturité biologique à partir de données GPS en match.

Auteurs : Berger William et Heylen Thomas

Promoteur : Vercruysse Benoit

Co-promoteur : Devillers Yves

Année académique 2025-2026

Master 120 en sciences de la motricité, orientation éducation physique, à
finalité didactique option entraînement du sportif – EDPH2MD

UCLouvain FSM : Déclaration d'utilisation des aides et outils Intelligence Artificielle (IA)

J'ai utilisé l'IA pour ce projet : ☐ Oui
☐ Non

Si vous avez utilisé l'IA dans ce travail, veuillez préciser comment ci-dessous :

Texte (par exemple, vérification orthographique, génération de texte, production d'idées, ...)

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

--

Images

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

--

Code, aide à la programmation, ou algorithmes

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

--

Autres utilisations

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

--

Je connais les règles de de la Faculté des sciences de la motricité de l'UCLouvain en matière d'intelligence artificielle. Je déclare que toute utilisation d'aides ou d'outils d'intelligence artificielle est explicitement mentionnée dans le présent formulaire de déclaration

Nom		Prénom	
-----	--	--------	--

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier chaleureusement notre co-promoteur Monsieur Devillers, notre promoteur Monsieur Vercruysse, pour leur expertise, le temps précieux qu'ils nous ont consacré et les remarques avisées et, surtout, pour nous avoir permis de participer à ce projet passionnant qui nous tenait à cœur.

Nous souhaitons également remercier sincèrement les clubs partenaires qui ont contribué à notre étude pour le partage de leurs données et pour nous avoir permis de pouvoir mener à bien cette étude.

Mais aussi personnellement, Monsieur Losfeld, Monsieur Georges, Monsieur Streel, pour le partage de sources, pour les conseils avisés, et leur regard d'experts dans ce projet.

Enfin, nous adressons à nos familles et amis respectifs nos affectueux remerciements pour le soutien indéfectible.

LEXIQUE

DLTJ : Développement à long terme du joueur

D2 FFA : Division 2 amateur de football francophone en Belgique

FFA : Football Francophone Amateur

GPS : Global Positioning System

HSR : High Speed Running

HSR/min : Distance à haute intensité par minute

Hz : Hertz

Km : Kilomètres

Km/h : Kilomètres par heure

m : Mètres

m/s² : Mètre par seconde au carré

n : Taille de l'échantillon

Nb acc : Nombre d'accélérations

Nb dec : Nombre de décélérations

Nb sprint : Nombre de sprints

PHV : Peak Height Velocity

Q1 : Quartile 1 (entre janvier et mars)

Q4 : Quartile 4 (entre octobre et décembre)

RAE : Relative Age Effect

RBFA : Royal Belgian Football Association

REML : Restricted Maximum Likelihood

SPR : Sprint Running

TD : Distance totale

TD/min : Distance par minute

U15 : Under 15 years

Vmax : Vitesse maximale

VV : Voetbal Vlaanderen

TABLE DES MATIÈRES

1. PRÉAMBULE	1
2. INTRODUCTION.....	2
2.1 ÉVOLUTION DU JEU	2
2.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSIOLOGIQUES ET DÉVELOPPEMENTALES CHEZ LES JEUNES JOUEURS DE FOOTBALL (U15)	4
2.2.1 Développement moteur chez les U15.....	4
2.2.2 Impact de la maturation et effet de l'âge relatif (RAE)	5
2.2.3 Capacités de vitesse et endurance	6
2.2.4 Performance de course en match	6
2.3 DIFFÉRENCES D'EXIGENCES PHYSIQUES SELON LE POSTE CHEZ LES JEUNES JOUEURS.....	7
2.4 COMPARAISON DES PERFORMANCES D'EXPLOSIVITÉ, DE VITESSE ET DE COURSE EN MATCH ENTRE U15 ET LES AUTRES CATÉGORIES D'ÂGE, Y COMPRIS LE NIVEAU ADULTE	9
2.4.1 Performances d'explosivité et de vitesse	9
2.4.2 Exigences de courses en match	9
2.5 MESURE DE LA CHARGE EXTERNE DANS LE FOOTBALL.....	10
2.5.1 Utilisation du GPS	11
2.5.1.1 Fonctionnement technologique	11
2.5.1.2 Variables mesurées et métriques clés	11
2.5.1.3 Forces du système.....	12
2.5.1.4 Limites et considérations techniques	12
3. MÉTHODES.....	12
3.1 PROCÉDURES.....	12
3.1.1 Format de jeu	12
3.1.2 Participants	13
3.1.3 Prises de données.....	13
3.1.4 Test de Mirwald.....	13
3.1.5 Données GPS	14
3.1.6 Considérations éthiques et confidentialité des données	15
3.2 Variables mesurées	16
3.2.1 Durée de match (D séance).....	16
3.2.2 Distance totale (TD).....	16
3.2.3 Course à haute intensité (HSR)	16
3.2.4 Variables relatives au temps de jeu	17
3.2.5 Nombre de sprints (Nb sprints)	17

3.2.6 Vitesse maximale (Vmax)	18
3.2.7 Nombre d'accélérations (Nb acc)	18
3.2.8 Nombre de décélérations (Nb dec).....	18
3.3 Traitement des données et critères d'exclusion	19
3.3.1 Analyse des données	19
3.3.2 État des lieux.....	20
3.3.3 Relation avec le score de Mirwald et comparaison entre les niveaux de jeu.	20
3.3.4 L'influence du poste	21
4. RÉSULTATS.....	23
4.1 État des lieux des performances de course	23
4.2 Comparaison entre le niveau élite 1 et élite 2.....	26
4.3 Relation entre le score au test de Mirwald et les variables GPS	28
4.4 Influence du poste	29
5. DISCUSSION	32
5.1 Pertinence des participants	32
5.2 Pertinence des protocoles et outils utilisés	33
5.3 Interprétation de l'État des lieux des performances de course.....	34
5.4 Interprétation de la comparaison entre les 2 niveaux (élite 1 et élite 2)	36
5.5 Interprétation de l'influence de la maturation biologique (Mirwald).....	38
5.6 Interprétation de l'influence du poste de jeu	40
5.7 Applications pratiques	42
6. LIMITES DE L'ETUDE.....	43
6.1 Puissance statistique et représentativité de l'échantillon	44
6.2 Standardisation des temps de jeu et extrapolation	44
6.3 Biais instrumentaux et métrologiques	44
6.4 Facteurs environnementaux et pré-compétitifs.....	45
6.5 Facteurs tactiques	45
6.6 Facteurs contextuels au match	45
7. CONCLUSION	46
8. BIBLIOGRAPHIE	49
9. ANNEXES	58
ANNEXE 1	58
ANNEXE 2.....	58
ANNEXE 3.....	62

1. PRÉAMBULE

Ce mémoire s'inscrit dans un contexte marqué, au niveau belge, par un manque de données scientifiques concernant la charge externe en match des jeunes joueurs de football U15. La charge externe reprend les contraintes physiques mesurables imposées aux joueurs, telles que la distance parcourue, l'intensité des efforts ou la vitesse atteinte. En effet, nos recherches dans les différentes bases de données (PubMed, Google Scholar, SportDiscus) ainsi que dans les publications de la fédération belge de football n'ont pas permis d'identifier d'étude spécifiquement consacrée à ce sujet. Ce choix est également motivé par nos intérêts personnels respectifs quant à la préparation physique appliquée aux jeunes footballeurs. Plus spécifiquement, ce travail s'intéresse à la préparation physique, à travers des données GPS de match et l'estimation de la maturation biologique, des jeunes joueurs de football U15 évoluant en compétition élite au cours de la saison 2025-2026. La « fig.1 » situe la catégorie d'âge U15 au sein de l'organisation du football belge. La « fig. 2 » précise le niveau de compétition et l'organisation associée.

Cat. d'âges	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U18	U21	Senior
Niv. Age	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Année	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009-2008	2010	>2010
Format	2c2	3c3	5c5	5c5	8c8	8c8	8c8	11c11	11c11	11c11	11c11	11c11	11c11	11c11

Fig. 1. Catégories d'âges en Belgique sur la saison 2025-2026 (tiré de <https://www.ffa.be/nouvelles/respectons-les-formats-de-jeu-0>)

Niveau		Organisation
5	Elite 1	RBFA
4	Elite 2	RBFA
3	Interprovincial	FFA/VV
2	Provincial	FFA/VV
1	Régional	FFA/VV

Le plus haut niveau est celui d'élite 1.

RBFA = Royal Belgian Football Association

FFA = Football francophone amateur

VV = Voetbal Vlaanderen

Fig. 2. Différents niveaux de jeux dans la catégorie U15 en Belgique

Au-delà de son intérêt scientifique, ce mémoire s'adresse également aux préparateurs physiques, entraîneurs, responsables de formation et structures de développement fédéral du football belge, avec également des perspectives potentielles pour les intervenants du domaine médical et de la réathlétisation souhaitant mieux comprendre les exigences locomotrices imposées aux joueurs U15 évoluant au niveau élite.

Les données présentées ont pour ambition de contribuer à la compréhension des exigences de courses en match des jeunes joueurs de football élite. Ces valeurs pourraient être applicables au terrain, et pourraient contribuer à l'individualisation des charges d'entraînement, au suivi du développement physique des jeunes joueurs ainsi qu'à une meilleure prise en compte des différences liées à la maturation biologique et au poste de jeu.

Ce mémoire poursuit ainsi un triple objectif :

- 1) Décrire les valeurs de charge externe observées lors d'un match de football dans la catégorie U15 Elite du championnat belge.
- 2) Comparer les performances de course entre le niveau élite 1 et le niveau élite 2.
- 3) Analyser les interactions entre les différentes variables GPS collectées avec le statut maturationnel des joueurs et le poste de jeu.

2. INTRODUCTION

2.1 ÉVOLUTION DU JEU

Le football, considéré comme le sport le plus populaire au monde, est pratiqué sur tous les continents (Kubayi, 2019). Au fil des décennies, cette discipline a subi une évolution morphologique et structurelle considérable, la transformant en un jeu caractérisé par des périodes d'activité plus rapides et beaucoup plus intenses (Wallace & Norton, 2014 ; Bradley et al., 2016 ; Pons et al., 2021). La performance au haut niveau est dorénavant basée sur une combinaison optimale de la condition physique et des aptitudes techniques et tactiques (Rösch et al., 2000).

Entre 1966 et 2010, la vitesse du jeu (mesurée par la vitesse du ballon) a augmenté de 15 % (Wallace & Norton, 2014). Sur le plan structurel, la durée moyenne des périodes de jeu continu a diminué, tandis que la durée des arrêts de jeu (stoppages)

a augmenté (Norton, 2025). Cette tendance facilite la récupération entre les phases de jeu et encourage ainsi l'intensité globale du jeu lorsque l'action reprend (Norton, 2025).

Concernant les charges physiques supportées par les joueurs, la distance totale (TD) de course parcourue par les joueurs de football adultes de haut niveau est restée relativement stable, se situant historiquement autour de 11 km par match en moyenne (Andrzejewski et al., 2012 ; Burgess et al., 2006 ; Di Salvo et al., 2007 ; Vigne et al., 2010). Malgré cette tendance à la stagnation ou à la diminution de la distance totale, le football moderne est incontestablement devenu plus intense et plus exigeant (Di Mascio et al., 2015 ; Bradley et al., 2016 ; Pons et al., 2021). Cette intensification se manifeste par une augmentation du nombre et des distances de courses à haute intensité et de sprints chez les joueurs de champ (Van de Castele et al., 2024 ; Buchheit et al., 2010). Des différences de charges externes ont notamment été observées entre les deux premières divisions espagnoles. (Gomez-Piqueras et al., 2019 ; Pons et al., 2021 ; Garcia-Calvo et al., 2025). Cette différence entre les niveaux de performance indique que le niveau d'exigence physique est supérieur dans l'élite du football que dans les divisions inférieures (Pons et al., 2021).

La nature des efforts intenses est également bien caractérisée. Les sprints réalisés lors d'un match dépassent rarement les 20 mètres (Andrzejewski et al., 2015 ; Di Salvo et al., 2007 ; G Cazorla, 2016) et leur durée moyenne est courte, se situant autour de 2,2 secondes (Cazorla, 2016 ; Vigne et al., 2010). Ces contraintes impliquent que les joueurs atteignent rarement leur vitesse maximale de sprint durant la compétition (Buchheit et al., 2021 ; G Cazorla, 2016 ; Lockie et al., 2011 ; Schimpchen et al., 2016 ; Young et al., 2018), soulignant ainsi l'importance capitale des capacités d'accélération (Di Salvo et al., 2007). Par ailleurs, seulement 1,2 % à 2,4 % de la distance totale parcourue l'est avec le ballon (Di Salvo et al., 2007), confirmant que la majorité des efforts physiques du joueur sont effectués sans ballon (Di Salvo et al., 2007 ; Di Salvo et al., 2009).

Si ces exigences physiques élevées sont bien établies chez les joueurs adultes de haut niveau, elles concernent également les jeunes footballeurs, qui pourraient soumis à des contraintes similaires dans un contexte de développement

physiologique encore en évolution. A cet âge, la capacité de répétition des sprints, la récupération rapide et l'adaptation aux charges de haute intensité deviennent des facteurs déterminants de la performance (Méndez-Villanueva et al., 2013 ; Deprez et al., 2015). Ces particularités justifient d'examiner plus spécifiquement les caractéristiques physiologiques et développementales des joueurs U15, afin de mieux comprendre comment leur maturation influence les exigences du jeu.

2.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSIOLOGIQUES ET DÉVELOPPEMENTALES CHEZ LES JEUNES JOUEURS DE FOOTBALL (U15)

L'évaluation de la performance chez les jeunes joueurs de football de haut niveau nécessite une compréhension approfondie de leur profil global. Dans le contexte du modèle de développement du football francophone amateur (FFA), la performance est définie comme multifactorielle et dynamique, intégrant les dimensions physiques, psycho-cognitives et technico-tactiques du joueur (Balyi et al., 2013). Ainsi, la compréhension approfondie des caractéristiques physiques et physiologiques, déterminants majeurs de la performance dans le football moderne, doit s'inscrire dans cette approche holistique du développement à long terme du joueur (DLTJ) (FFA, Rösch et al., 2000 ; Figueira et al., 2018).

2.2.1 Développement moteur chez les U15

La période autour de 14 ans (catégorie U15) constitue une étape charnière dans le DLTJ, marquant le début de la seconde phase de la puberté (UEFA B Fitness, 2025). Cette période coïncide souvent avec le pic de vitesse de croissance (PHV), estimé chez les jeunes footballeurs à $13,8 \pm 0,8$ ans (Deprez et al., 2015). L'impact du PHV est critique sur le développement moteur du joueur. Celui-ci va notamment altérer la motricité suite à l'augmentation rapide de la taille, détériorant temporairement le rapport force/poids et la souplesse. Les priorités athlétiques lors de cette période sont la vivacité et la fréquence gestuelle ainsi que les efforts intermittents. À noter que cette période présente un risque de blessure plus élevé et qu'une réduction des charges d'entraînement juste avant le PHV est préconisée (Devillers et al., 2025).

2.2.2 Impact de la maturation et effet de l'âge relatif (RAE)

La maturation biologique influence fortement la sélection et la performance à cet âge (Kelly & Williams, 2020). Le test de Mirwald, basé sur des mesures anthropométriques, permet d'estimer de manière non invasive ce degré de maturation biologique (Mirwald et al., 2002). Les joueurs maturant précocement (13-15 ans) sont souvent avantagés par leur morphologie (plus grands, plus lourds, avec une circonférence de cuisse plus importante) et affichent de meilleures performances aux tests de sprint (Figueiredo et al., 2009).

L'effet de l'âge relatif (RAE) favorise les joueurs nés au début d'année, entre janvier et mars (Q1). Cependant, les joueurs nés en fin d'année, entre octobre et décembre (Q4), auraient un potentiel plus élevé à long terme, ayant dû surmonter un retard physique initial (Gonzalez-Villora et al., 2015 ; Helsen et al., 2012 ; Kelly et al., 2020). Pour atténuer ces biais, des stratégies comme le regroupement par maturité biologique sont recommandées (Towlson et al., 2021 ; Abbott et al., 2019). Dans ce cadre, le plan stratégique « Play to Grow » de la Pro League met en exergue cette problématique majeure au sein des centres de formation. Illustrées par la « fig.3 », les statistiques récentes pour la saison 2024-2025 en Belgique démontrent parfaitement cette disparité : au sein de la catégorie U15 élite, les Q1 représentent 39,43 % des effectifs, alors que les Q4 ne constituent que 11,43 % des noyaux.

	Équipes de jeunes Élite			
	Q1	Q2	Q3	Q4
U11	39,53%	25,92%	21,73%	12,83%
U12	39,65%	30,05%	18,94%	11,36%
U13	42,62%	24,51%	20,06%	12,81%
U14	40,36%	26,71%	18,10%	14,84%
U15	39,43%	31,43%	17,71%	11,43%
U16	40,95%	31,48%	18,66%	8,91%
U18	34,49%	26,20%	25,13%	14,17%
U21/U23	35,82%	27,84%	19,85%	16,49%

Aperçu par trimestre sur la base des chiffres de 15 clubs au sein des jeunes Élite (saison 2024- 2025).

Fig. 3. Pro League. (2024). *Plan Jeunes : Play to Grow*.

2.2.3 Capacités de vitesse et endurance

Chez les jeunes joueurs, notamment en catégorie U15, les différences de maturation biologique expliquent une part importante des écarts observés dans les performances de sprint, de puissance et de vitesse maximale. Les qualités de sprint et de puissance, fortement influencées par le statut maturationnel, constituent des indicateurs essentiels du potentiel d'accès au haut niveau. À l'inverse, la capacité aérobie semble davantage dépendre du niveau d'entraînement que du développement biologique des joueurs évoluant en élite (Le Gall et al., 2010 ; Deprez et al., 2014 ; Kelly & Williams, 2020 ; Benediktsson et al., 2024).

Dans le football moderne, la vitesse ne se limite plus à la course linéaire, mais englobe également les capacités d'accélération, de décélération, de changement de direction et le maintien d'efforts à haute intensité dans des situations multidirectionnelles propres au jeu. Les joueurs de haut niveau sont ainsi exposés à une augmentation des courses à haute intensité, des accélérations et des sprints répétés, nécessitant une capacité aérobie élevée afin de soutenir ces efforts tout au long du match (Delaval, 2024).

2.2.4 Performance de course en match

L'exigence physique dans le football junior augmente de manière discontinue avec l'âge (Saward et al., 2016 ; Buchheit et al., 2010). Sur la base de la littérature internationale, l'activité de course en match chez les jeunes élites (U9–U18) évolue de manière non-linéaire avec l'âge. La distance totale, la distance à haute vitesse et la distance de sprint augmentent jusqu'à un plateau, avant de diminuer éventuellement après 16-17 ans, tandis que la distance à basse vitesse continue d'augmenter tout au long de la plage d'âge examinée (Saward et al., 2016).

	U13	U14	U15	U16	U17	U18	η^2
anthropometric, maturity data and physical capacities							
number of players	n = 7	n = 17	n = 10	n = 12	n = 17	n = 14	
year from PHV	-1.7 ± 0.4 ^{a,b,c,d,e}	-0.7 ± 0.5 ^{c,d,e}	-0.1 ± 0.7 ^{d,e}	0.6 ± 0.8 ^{d,e}	1.6 ± 0.6 ^e	2.2 ± 0.4	0.83
height (cm)	150 ± 6 ^{a,b,c,d,e}	159 ± 7 ^{d,e}	161 ± 6 ^{d,e}	163 ± 9	170 ± 7	171 ± 9	0.58
body mass (kg)	39.3 ± 5.1 ^{b,c,d,e}	43.9 ± 5.2 ^{d,e}	48.8 ± 9.8 ^d	52.0 ± 7.2	58.1 ± 4.7	56.3 ± 7.5	0.51
CMJ (cm)	27.5 ± 2.5 ^{a,b,c,d,e}	32.0 ± 3.1 ^{b,c,d,e}	39.2 ± 4.1 ^{d,e}	37.9 ± 3.7 ^{d,e}	42.6 ± 4.0	44.5 ± 5.2	0.69
Acc (s)	1.96 ± 0.07 ^{a,b,c,d,e}	1.89 ± 0.06 ^{b,c,d,e}	1.79 ± 0.08 ^{d,e}	1.77 ± 0.05 ^e	1.74 ± 0.04	1.71 ± 0.06	0.67
PV (km.h ⁻¹)	25.4 ± 0.7 ^{a,b,c,d,e}	27.0 ± 1.5 ^{b,c,d,e}	29.0 ± 1.8 ^{d,e}	29.4 ± 1.0 ^{d,e}	31.3 ± 0.7 ^e	32.3 ± 1.9	0.74
RSA _{mean}	5.15 ± 0.08 ^{a,b,c,d,e}	4.88 ± 0.16 ^{b,c,d,e}	4.60 ± 0.20 ^{d,e}	4.51 ± 0.12 ^e	4.39 ± 0.12	4.31 ± 0.17	0.78
V _{am-eval} (km.h ⁻¹)	13.7 ± 0.8 ^{a,b,c,d,e}	15.3 ± 1.4 ^{d,e}	15.8 ± 1.3 ^e	15.8 ± 1.1 ^e	16.6 ± 0.9	17.4 ± 0.9	0.51
match running performance							
number of files	n = 18 files	n = 40 files	n = 25 files	n = 21 files	n = 29 files	n = 53 files	
playing time	2 × 35 min	2 × 35 min	2 × 40 min	2 × 40 min	2 × 40 min	2 × 45 min	
TD (m)	6549 ± 597 ^{a,b,c,d,e}	7383 ± 640 ^{b,c,d,e}	8129 ± 879 ^e	8312 ± 1054	8707 ± 1101	8867 ± 859	0.44
LIR (m)	5370 ± 470 ^{b,c,d,e}	5799 ± 454 ^{b,c,d,e}	6288 ± 610	6480 ± 845	6749 ± 768	6650 ± 565	0.36
HIR (m)	671 ± 180 ^{b,c,d,e}	821 ± 231	954 ± 297	968 ± 258	991 ± 370	976 ± 240	0.28
VHIR (m)	323 ± 87 ^{b,c,d,e}	446 ± 162 ^e	477 ± 156	479 ± 180	519 ± 155	574 ± 134	0.20
Sprinting (m)	186 ± 92 ^{b,c,d,e}	318 ± 183 ^e	410 ± 204 ^e	384 ± 163 ^e	449 ± 147 ^e	666 ± 256	0.39
VHIA (m)	509 ± 156 ^{a,b,c,d,e}	763 ± 307 ^{d,e}	887 ± 311 ^e	864 ± 314 ^e	967 ± 221 ^e	1239 ± 337	0.39
peak game speed (km.h ⁻¹)	22.3 ± 1.4 ^{a,b,c,d,e}	24.4 ± 1.8 ^{b,c,d,e}	26.0 ± 2.4 ^e	26.3 ± 2.3 ^e	26.6 ± 2.2 ^e	28.3 ± 2.2	0.45

Mean (±SD) values of anthropometric and match running performances and least squared means (±SE) of physical capacities of the Under 13 (U13), Under 14 (U14), Under 15 (U15), Under 16 (U16), Under 17 (U17) and Under 18 (U18) soccer players. PHV peak height velocity. Field tests: counter movement jump (CMJ), acceleration (Acc), peak velocity (PV), mean sprint time on the repeated sprint test (RSA_{mean}) and peak running speed during the incremental field test (V_{am-eval}). Match running performance: total distance covered (TD), low-intensity running (LIR; running speed < 13.0 km · h⁻¹), high-intensity running (HIR; running speed from 13.1 to 16 km · h⁻¹), very high-intensity running (VHIR; running speed from 16.1 to 19 km · h⁻¹) and sprinting distance (Sprinting; running speed > 19.1 km · h⁻¹). Very high-intensity activities (VHIA) = VHIR + Sprinting. Main age-group effect: all P < 0.001. a: significant difference vs. U14 (P < 0.05), b: vs. U15, c: vs. U16, d: vs. U17, e: vs. U18. η^2 : effect size

Fig. 4. Buchheit M., Mendez-Villanueva A., Simpson B.M., Bourdon P.C. (2010) : *Match running performance and fitness in youth soccer.*

2.3 DIFFÉRENCES D'EXIGENCES PHYSIQUES SELON LE POSTE CHEZ LES JEUNES JOUEURS

Les caractéristiques de la performance de course en match sont influencées par le rôle tactique du joueur sur le terrain (Schimpchen et al., 2016).

Milieux de terrain centraux : ces joueurs couvrent systématiquement la plus grande distance totale par match (Kubayi, 2021 ; Burgess et al., 2006 ; Saward et al., 2016).

Défenseurs centraux : ils couvrent la distance totale la plus faible et la plus courte distance en course à haute vitesse (high-speed running, HSR) (542 m), passant la majorité de leur temps à des mouvements de faible intensité (marche ou course lente) (Kubayi, 2019 ; Pons et al., 2021, cité par Kubayi, 2021).

À l'inverse, les défenseurs latéraux couvrent une plus grande distance totale, en raison de leurs rôles offensifs et défensifs étendus (Di Salvo et al., 2009 ; Kubayi, 2021).

Attaquants et milieux excentrés : ces postes sont ceux qui couvrent la plus grande distance lors des activités HSR (872 m) et de sprint (Kubayi, 2021 ; Saward et al., 2016).

L'existence de ces différences dès le jeune âge renforce la nécessité, pour les entraîneurs, de concevoir des programmes d'entraînement spécifiques au poste, maximisant ainsi l'adaptation aux exigences tactiques et physiques de la compétition (Kubayi, 2021 ; Saward et al., 2016).

La « fig.5 » illustre de manière visuelle la différence entre les différents paramètres de courses en fonction du poste de jeu lors d'un match.



Fig. 5. Cartographie des exigences en termes de TD, HSR et sprint en match par différents poste de jeu.

2.4 COMPARAISON DES PERFORMANCES D'EXPLOSIVITÉ, DE VITESSE ET DE COURSE EN MATCH ENTRE U15 ET LES AUTRES CATÉGORIES D'ÂGE, Y COMPRIS LE NIVEAU ADULTE

2.4.1 Performances d'explosivité et de vitesse

Les capacités d'accélération, de sprint et de puissance neuromusculaire sont des déterminants fondamentaux de la performance à tous les niveaux (Cazorla, 2016). Concernant la vitesse linéaire, les U15 des académies élites présentent des temps de sprint sur 20 m autour de 3.06 s à 3.08 s (Konarski et al., 2021 ; Dugdale et al., 2021). Les futurs professionnels U15 sont constamment plus rapides sur le sprint de 20 m que les non-professionnels (différence de 0.02–0.04 s). Ces performances de sprint sont comparables, voire légèrement supérieures, à celles des joueurs adultes amateurs (D2 FFA), dont le temps moyen sur 20 m départ arrêté (20m A) est de 3.17 +/- 0.13 s (Alexis & Delbecque, 2022). Il est cependant important de noter que les sprints les plus décisifs en match dépassent rarement 20 m dans le football adulte, soulignant l'importance critique de la capacité d'accélération (Di Salvo et al., 2007 ; G Cazorla, 2016).

2.4.2 Exigences de courses en match

Pour mettre en contexte les données de courses recueillies chez les jeunes joueurs, il est essentiel de comparer leur profil d'activité avec celui de joueurs professionnels étant donné que la littérature manque de données concernant les footballeurs U15 évoluant dans le championnat belge. Dans celui-ci, au niveau adulte le plus élevé, la Jupiler Pro League, les joueurs professionnels parcourent une TD moyenne de 10 350m et une distance HSR moyenne de 612 m, ce qui représente des valeurs plus élevées à ce que l'on peut retrouver chez des jeunes U15 à l'international où les exigences locomotrices s'élèvent à une TD moyenne de 8129 m et une distance HSR moyenne de 477 m (Van de Castele et al., 2024 ; Buccheit et al., 2010). Cependant, les jeunes U15 semblent parcourir une plus grande distance en sprint, avec en moyenne 410 m parcourus contre 210 m parcourus chez

les adultes en Jupiler Pro League (Van de Castele et al., 2024 ; Buccheit et al., 2010).

En regard du manque de littérature scientifique concernant la catégorie U15 des footballeurs belges, l'intérêt de notre mémoire s'est porté à l'analyse de la charge externe à l'aide de l'outil GPS, pendant les matchs de ces jeunes joueurs. Les questions de recherche guidant notre travail sont les suivantes : quelles sont les valeurs de course actuelles en match et la maturité biologique chez les footballeurs U15 élite ? Dans quelle mesure le niveau de compétition et le niveau de maturation influencent-ils les variables de course collectées par GPS ? Quel est l'impact respectif du statut maturationnel et du poste de jeu sur les variables GPS collectées ?

2.5 MESURE DE LA CHARGE EXTERNE DANS LE FOOTBALL

Dans le football professionnel actuel, il devient de plus en plus courant de suivre l'activité physique en temps réel des joueurs à la fois pendant les entraînements et les matchs (Buchheit et al., 2014). Quantifier les exigences physiques de l'entraînement constitue une composante essentielle du suivi de la charge d'entraînement des joueurs (Buchheit et al., 2014).

Cette charge d'entraînement est divisée en deux concepts : la charge interne et la charge externe (Cummins et al., 2013). La charge interne représente les réponses individuelles, tant physiologiques que psychologiques, incluant notamment la fréquence cardiaque, les niveaux de lactate sanguin ou la perception de l'effort (Dios-Álvarez et al., 2021). À l'inverse, la charge externe correspond aux contraintes imposées aux joueurs lors des séances d'entraînement ou des situations de match, telles que la distance parcourue, le nombre d'actions à différentes intensités, les accélérations et décélérations ou encore la vitesse maximale atteinte. Ces différentes variables sont mesurées dans le football à l'aide de l'outil GPS.

2.5.1 Utilisation du GPS

L'intégration des technologies de suivi des athlètes a transformé la gestion de la performance dans le football moderne. Parmi ces outils, le Global Positioning System (GPS) s'est imposé comme le standard pour quantifier la charge de travail externe des joueurs, permettant ainsi d'optimiser l'entraînement et de minimiser les risques de blessures (Hennessy & Jeffreys, 2018). Le GPS est utilisé pour mesurer de manière objective le niveau de contrainte physique subi par les joueurs, analyser les performances en match, évaluer la charge de travail spécifique aux différents postes, déterminer l'intensité de l'entraînement et suivre les modifications physiologiques des joueurs (Cummins et al., 2013).

2.5.1.1 Fonctionnement technologique

Le fonctionnement du GPS repose sur une constellation de satellites orbitant autour de la terre. Le récepteur porté par le joueur calcule sa position en mesurant le temps mis par les signaux pour voyager du satellite à l'unité réceptrice. Pour obtenir une précision acceptable en sport, l'appareil utilise la triangulation à partir d'au moins quatre satellites (Hennessy & Jeffreys, 2018).

La fréquence d'échantillonnage, exprimée en Hertz (Hz), est un déterminant majeur de la précision. Si les modèles 1 Hz étaient limités, les dispositifs actuels de 10 Hz à 15 Hz offrent une fidélité accrue pour capturer les changements de direction et les sprints courts caractéristiques du football (Hennessy & Jeffreys, 2018).

2.5.1.2 Variables mesurées et métriques clés

Sur la base des données scientifiques, la distance totale parcourue, la distance parcourue à haute intensité (high-speed running, HSR) mesurée entre 19,8 et 24,8 km/h, le nombre de sprints mesurés au-delà de 25,2 km/h, la vitesse maximale spécifique, le nombre d'accélération ($\geq 3 \text{ m/s}^2$) et le nombre de décélérations ($\leq -3 \text{ m/s}^2$) semblent être des paramètres GPS pertinents pour surveiller la charge externe en football professionnel (Akenhead et al., 2016 ; Varley et al., 2017 ; Malone et al., 2017). Il est toutefois important de souligner que les GPS peuvent présenter différents bornages de vitesse. Ceux-ci peuvent s'expliquer par une disparité technologique (fréquence d'échantillonnage, précision des mesures, filtres

de traitement du signal) ainsi que par des choix méthodologiques visant à adapter les seuils de vitesse aux spécificités des joueurs (Gualtieri et al., 2023).

2.5.1.3 Forces du système

Le GPS permet d'établir un "profil de match" via l'analyse des déplacements des joueurs, servant de référence pour concevoir des exercices d'entraînement qui répliquent les exigences réelles de la compétition (Hennessy & Jeffreys, 2018). De plus, il peut fournir des données en temps réel, permettant aux préparateurs physiques d'ajuster l'intensité d'une séance en direct (Hennessy & Jeffreys, 2018).

2.5.1.4 Limites et considérations techniques

Malgré son utilité, le système présente des limites intrinsèques. Au niveau de la validité, la précision du GPS diminue lors de mouvements très courts et explosifs ou lors de changements de direction rapides (Hennessy et Jeffrey, 2018). La qualité du signal peut également être dégradée par l'architecture des stades ou des conditions météorologiques défavorables et est inopérant dans les installations couvertes (Hennessys et Jeffrey, 2018).

3. MÉTHODES

3.1 PROCÉDURES

3.1.1 Format de jeu

Les rencontres observées dans le cadre de ce travail concernent la catégorie U15 élite du championnat belge. Dans cette catégorie, les matchs se disputent à 11 contre 11 sur un terrain réglementaire à dimensions complètes, entre 90 m et 120 m de longueur et entre 45 m et 90 m en largeur, conformément aux directives de la Fédération Royale Belge de Football (RBFA). Ces rencontres se sont déroulées sur des terrains synthétiques ou sur gazon naturel en fonction des infrastructures du club recevant. Chaque rencontre se déroule en deux mi-temps de 40 minutes, séparées par une pause de 10 à 15 minutes. Un maximum de 16 joueurs peut être inscrit sur la feuille de match, incluant les remplaçants. Les lois du jeu appliquées sont globalement identiques à celles du football à 11 senior, à l'exception de la durée de jeu qui est de 2x45 minutes en senior. Mais aussi de la souplesse des changements, illimités, au

contraire des championnats adultes élite où 5 changements par match sont autorisés (4 en amateur).

3.1.2 Participants

L'étude a été menée auprès de joueurs de football appartenant à la catégorie U15 de trois équipes belges. Parmi ces équipes, une évolue dans le championnat élite 1 et les deux autres évoluent dans le championnat élite 2, permettant de comparer des profils issus de différents niveaux de compétition.

3.1.3 Prises de données

Les prises de données comprennent les mesures de l'ensemble des participants dans le cadre du test de Mirwald ainsi que l'utilisation des GPS lors des matchs inclus dans l'étude.

3.1.4 Test de Mirwald

Les mesures pour obtenir le score de Mirwald ont été prises entre octobre et mars de la saison concernée par les mesures GPS.

Ces mesures reprennent l'âge le jour du test, le poids, la taille debout, la taille assise et la longueur des membres inférieurs. Le protocole de mesure est présenté en *annexe 1*.

Le score de Mirwald, le maturity offset, est ensuite calculé selon l'équation représentée à la « fig. 6 ».

Un score négatif indique que le joueur n'a pas encore atteint son PHV. À l'inverse, un joueur obtenant un score positif a déjà dépassé son PHV.

Girls
Maturity Offset (years) = $-9.376 + (0.0001882 \times (\text{leg length} \times \text{sitting height})) + (0.0022 \times (\text{age} \times \text{leg length})) + (0.005841 \times (\text{age} \times \text{sitting height})) - (0.002658 \times (\text{age} \times \text{mass})) + (0.07693 \times (\text{mass by stature ratio} \times 100))$

Boys
Maturity Offset (years) = $-9.236 + (0.0002708 \times (\text{leg length} \times \text{sitting height})) + (-0.001663 \times (\text{age} \times \text{leg length})) + (0.007216 \times (\text{age} \times \text{sitting height})) + (0.02292 \times (\text{mass by stature ratio} \times 100))$

Fig. 6. Équation « Mirwald maturity offset equations » tirée de Mirwald et al, 2002.

3.1.5 Données GPS

Les données de charge externe ont été recueillies à l'aide de GPS lors de matchs officiels des 3 équipes figurant dans l'étude.

Comme présenté à la « fig. 7 », les données d'une première équipe ont été enregistrées au cours des mois de février et de mars 2025, tandis que celles des deux autres équipes ont été collectées entre janvier et avril 2026. Cette répartition des dates de collecte découle des disponibilités et du calendrier de compétition de chaque équipe.



Fig. 7. Chronologie de la collecte de données du mémoire universitaire de Berger et Heylen en 2025-2026

Les enregistrements ont été réalisés à l'aide de deux marques de systèmes GPS : STATSports, pour deux équipes, et Catapult, pour la troisième équipe. Chaque joueur portait un capteur GPS intégré dans un gilet positionné entre les omoplates. Les dispositifs ont enregistré à une fréquence d'échantillonnage de 10 Hz, permettant le calcul de variables telles que la distance totale parcourue, la distance parcourue à haute intensité (HSR, $>19,8$ km/h), le nombre de sprints ($>25,2$ km/h), le nombre d'accélérations (≥ 3 m/s²) et de décélérations (≤ -3 m/s²) ainsi que la vitesse maximale.

Avant chaque match, les joueurs des différentes équipes ont réalisé un échauffement choisi et donné par les staffs respectifs de chaque formation. Les données ont ensuite été récoltées à partir du coup d'envoi de chaque match. Seules les données de chaque mi-temps ont été recueillies.

Après chaque rencontre, les données brutes ont été téléchargées via le logiciel propre à chaque système (STATSports Sonra/ Catapult OpenField), puis exportées pour analyse. Les valeurs suspectes liées à des erreurs de lecture, une perte de signal satellite ou des valeurs aberrantes dues à une mauvaise détection GPS ont été contrôlées et, le cas échéant, exclues du jeu de données final. Comme illustre-la « fig.8 », lors de la collecte de ces données, le joueur numéro 3 a obtenu sur le match numéro 2 des données jugées aberrantes en 80 minutes de temps de jeu.

Athlète	Match	Durée	TD	TD/min	HSR	HSR /min	Sprint	Nb sprint	Vmax
3	1	73,00	8215,73	112,54	442,66	6,06	109,93	6,00	28,92
3	2	80,00	4830,78	60,38	341,28	4,27	16,63	1,00	26,17
3	3	80,00	8774,88	109,69	180,56	2,26	55,52	4,00	27,84
3	4	80,00	8973,59	112,17	437,13	5,46	58,18	4,00	27,59

Fig. 8. Données du joueur numéro 3 recueillies avec le GPS 'Catapult' au sein d'un club élite en mars 2025-2026.

3.1.6 Considérations éthiques et confidentialité des données

Dans le cadre de cette étude, des conventions de partage et d'utilisation de données pseudonymisées ont été signées avec les clubs partenaires préalablement à la collecte des données. Ces conventions encadraient les modalités d'accès, d'utilisation, de protection et de confidentialité des données GPS et anthropométriques utilisées dans ce mémoire.

L'ensemble des données exploitées dans cette étude était pseudonymisé et aucune donnée nominative permettant l'identification directe des joueurs n'a été utilisée. Les données ont été traitées exclusivement à des fins scientifiques, dans le respect des principes éthiques applicables à la recherche et du règlement général sur la protection des données (RGPD).

Afin de préserver la confidentialité des clubs partenaires et des personnes impliquées, les conventions signées ne sont pas reproduites dans les annexes du présent mémoire. Un exemple vierge et anonymisé de convention de partage et d'utilisation des données pseudonymisées est toutefois présenté en *annexe 2*. Les

conventions originales pourront néanmoins être mises à disposition du jury ou du promoteur sur demande.

3.2 Variables mesurées

3.2.1 Durée de match (D séance)

Le temps de jeu effectif des joueurs a été rigoureusement contrôlé par les staffs techniques et les clubs partenaires lors de chaque rencontre. Conformément aux règlements spécifiques de la catégorie des jeunes joueurs évoluant en élite, la durée d'un match est fixée à deux périodes de 40 minutes. À ce temps réglementaire s'ajoute le temps additionnel, dont la durée finale est placée sous la responsabilité exclusive de l'arbitre de champ.

3.2.2 Distance totale (TD)

La distance totale correspond à la somme de l'ensemble des déplacements réalisés par le joueur durant son temps de jeu effectif. Cette variable constitue l'un des indicateurs les plus utilisés dans le suivi de la charge externe en football, car elle permet d'objectiver le volume global de travail locomoteur fourni au cours du match (Bortnik et al. 2024).

3.2.3 Course à haute intensité (HSR)

Cette variable est particulièrement pertinente dans le football moderne, où les efforts à haute intensité sont directement liés aux phases de transition, au pressing et aux appels en profondeur. Le seuil de la course à haute intensité (HSR), fixé entre 19,8 et 25,1 km/h, est largement utilisé dans la littérature scientifique et dans le football professionnel afin de quantifier les courses réalisées à haute intensité lors des matchs. Ce bornage permet de distinguer les efforts soutenus des actions de sprint et facilite la standardisation des analyses GPS entre les études et les systèmes utilisés.

Dans le cadre de notre étude, ce seuil a été retenu afin de permettre une comparaison avec la littérature existante et d'harmoniser les données récoltées entre les différentes équipes et systèmes GPS utilisés.

Nous sommes toutefois conscients que certains auteurs recommandent l'utilisation de seuils individualisés basés sur les capacités locomotrices propres à chaque joueur, notamment à partir de la vitesse maximale individuelle ou de paramètres physiologiques spécifiques, afin de mieux représenter les contraintes réelles du match (Abt & Lovell, 2009 ; Rago et al., 2020). Cependant, cette individualisation nécessiterait des évaluations régulières et standardisées pour chaque joueur au cours de la saison, ce qui n'était pas réalisable dans le cadre méthodologique de cette étude

3.2.4 Variables relatives au temps de jeu

Les variables de TD et HSR ont également été rapportées au temps de jeu (distance/min, HSR/min) et ce dans un objectif de normalisation des données, afin de comparer de manière objective les joueurs présentant des temps de jeu différents. Ces variables relatives permettent de représenter l'intensité spécifique du match (Ravé et al., 2020).

3.2.5 Nombre de sprints (Nb sprints)

Le nombre de sprints correspond au nombre total d'actions réalisées au-dessus du seuil de 25,2 km/h. Ce seuil fixé à 25,2 km/h est largement utilisé dans la littérature scientifique et dans le football professionnel afin de quantifier les efforts réalisés à très haute intensité. Il a notamment été montré que ce seuil représentait environ 76–77 % de la vitesse maximale individuelle chez des joueurs professionnels adultes (Silva et al., 2024). Ce paramètre est particulièrement utilisé dans les clubs élites car il permet de quantifier la fréquence des actions explosives décisives du match, souvent associées aux situations de contre-attaque ou de repli défensif.

Dans le cadre de notre étude, ce bornage a été retenu afin de faciliter la comparaison avec la littérature existante et d'harmoniser les analyses entre les différentes équipes et systèmes GPS utilisés.

Nous sommes toutefois conscients que certains auteurs recommandent une individualisation des seuils de vitesse à partir d'un pourcentage de la vitesse maximale individuelle (ex. : 80–90 % V_{max}), approche potentiellement plus pertinente chez les jeunes joueurs. Cependant, cette méthode nécessiterait une

évaluation régulière et standardisée de la vitesse maximale de chaque joueur, ce qui n'était pas réalisable dans le cadre de cette étude.

3.2.6 Vitesse maximale (V_{max})

La vitesse maximale correspond à la plus haute vitesse atteinte par le joueur au cours du match, celle-ci ne correspondant pas nécessairement à la vitesse maximale du joueur. Cette variable a été retenue pour son intérêt dans le suivi des qualités de vitesse pure et de l'explosivité, particulièrement importantes dans le développement du jeune joueur U15. Par ailleurs, dans les structures professionnelles, la vitesse maximale est régulièrement utilisée pour individualiser les seuils de sprint et de haute intensité, permettant une approche plus spécifique au profil du joueur. (Buchheit, M., et al., 2012).

3.2.7 Nombre d'accélération (Nb_{acc})

Le nombre d'accélération correspond au total des augmentations rapides de vitesse dépassant le seuil de 3 m/s^2 . Cette variable constitue un indicateur majeur de la charge neuromusculaire, car le football est caractérisé par de nombreux changements de rythme sur courtes distances. Dans les clubs élites, cette métrique est largement utilisée pour monitorer la charge mécanique imposée au joueur au cours du match et de l'entraînement (Harper, D. J., et al., 2019).

3.2.8 Nombre de décélérations (Nb_{dec})

Le nombre de décélérations correspond aux ralentissements brusques inférieurs ou égaux à -3 m/s^2 . Cette variable a été retenue car les décélérations représentent une charge musculaire excentrique importante et sont particulièrement surveillées dans les clubs professionnels dans une logique de prévention de la fatigue et des blessures. La littérature rapporte que ces actions peuvent être encore plus coûteuses que les accélérations sur le plan mécanique (Harper, D. J., et al., 2019).

3.3 Traitement des données et critères d'exclusion

3.3.1 Analyse des données

L'analyse des données GPS a été divisée en deux volets distincts, correspondant aux plusieurs volets principaux de ce travail : d'une part, l'établissement d'un état des lieux descriptif des exigences physiques des joueurs U15 Élite, et d'autre part, l'étude des relations entre les variables de charge externe, le statut maturationnel selon la méthode de Mirwald, la comparaison entre les niveaux de compétition élite 1 et élite 2 ainsi que l'influence du poste de jeu sur les différentes variables.

Dans un premier temps, l'ensemble des données brutes issues des GPS a fait l'objet d'un contrôle qualité rigoureux. Les enregistrements jugés de mauvaise qualité ou ne respectant pas le protocole de collecte ont été exclus de l'analyse. Cela concernait notamment les situations où le joueur s'échauffait avec son GPS, les interruptions anormales du signal, les pertes de connexion satellite ou encore les données incomplètes susceptibles d'altérer la validité des résultats. Les gardiens de but ont également été exclus en raison des exigences physiques spécifiques à leur poste, largement différentes de celles des joueurs de champ, ce qui aurait pu biaiser l'interprétation des variables locomotrices (Di Salvo et al., 2007 ; Kubayi, 2019).

Un second critère d'exclusion concernait le temps de jeu effectif. Seuls les joueurs ayant participé à au moins 60 minutes sur les 80 minutes réglementaires ont été retenus, soit un seuil correspondant à 75 % du temps de jeu total. Ce choix méthodologique repose sur deux justifications principales. Premièrement, un faible temps de jeu tend à sous-estimer artificiellement les variables de volume telles que la distance totale, la distance à haute intensité ou le nombre d'accélération, rendant les comparaisons interindividuelles peu pertinentes. Deuxièmement, ce seuil permet d'obtenir des valeurs plus robustes et plus représentatives des exigences réelles du match. Cette approche est cohérente avec les recommandations pratiques utilisées dans le suivi de la performance au sein des structures élites belges, notamment le pôle "fitness" de la FFA, ainsi qu'avec la littérature scientifique soulignant l'importance de standardiser l'exposition au match afin d'améliorer la validité des analyses GPS (Buchheit et al., 2010 ; Akenhead et al., 2016 ; Malone et al., 2017).

L'annexe 3, présentée en fin de mémoire, illustre schématiquement la procédure d'analyse des données.

3.3.2 État des lieux

Pour la première partie de l'analyse, visant à établir un profil descriptif physique des joueurs U15 évoluant en élite 1 et en élite 2, aucune moyenne individuelle par joueur n'a été réalisée. Chaque performance respectant les critères d'inclusion a été conservée comme une observation indépendante. Ce choix augmente la puissance descriptive mais ne supprime pas la dépendance intra-joueur.

Initialement, 195 observations GPS étaient disponibles. Après application des critères d'exclusion liés à la qualité des données, au poste de gardien et au seuil minimal de 60 minutes de jeu, 92 observations ont été retenues pour l'analyse finale des paramètres suivants : TD, distance/minutes, HSR, HSR/minutes, Nb sprints et la Vmax. Concernant le Nb acc et Nb dec à 3m/s^2 , 62 données ont été retenues. Afin de standardiser l'interprétation des résultats et de faciliter leur comparaison, l'ensemble des variables a été projeté sur une durée théorique de 80 minutes de jeu. Cette méthode permet d'obtenir des valeurs de référence plus directement exploitables. Ces variables ont été analysées via le logiciel Excel en utilisant les fonctions moyenne, maximum, minimum et écart-type.

3.3.3 Relation avec le score de Mirwald et comparaison entre les niveaux de jeu.

La seconde partie de l'analyse visait à étudier les relations entre les performances GPS, le score brut de maturation biologique obtenu par la méthode de Mirwald, ainsi que la comparaison entre les joueurs évoluant en élite 1 et ceux évoluant en élite 2.

Les mêmes critères d'exclusion ont été appliqués, avec un critère supplémentaire : seuls les joueurs ayant participé à un minimum de deux matchs ont été retenus. Ce choix permettait de limiter l'influence des facteurs contextuels propres à une seule rencontre, tels que le niveau de l'adversaire, l'état de forme du joueur, les conditions météorologiques, le type de terrain ou encore une éventuelle fatigue passagère. L'objectif était d'obtenir un profil plus stable et représentatif du joueur, réduisant ainsi la variabilité intra-individuelle. La littérature souligne également l'importance

de répéter les observations pour améliorer la fiabilité des mesures de charge externe en football (Cummins et al., 2013 ; Buchheit et al., 2014).

Dans cette seconde partie, une moyenne individuelle des performances a donc été calculée pour chaque joueur répondant aux critères d'inclusion. Sur les 195 observations initiales, 26 profils moyens de joueurs ont finalement été retenus.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Excel. Les relations entre les variables GPS (la distance totale parcourue, la distance/minute, la distance HSR, la distance HSR/minute, le Nb sprints, la vitesse maximale moyenne atteinte, la Vmax, ainsi que le Nb d'accélération et de décélération) et le score brut de Mirwald ont été étudiées à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson, accompagné du test t de Student associé à la significativité de la corrélation. La comparaison entre les joueurs évoluant en élite 1 et en élite 2 a été réalisée à l'aide d'un test t de Student pour échantillons indépendants. Le seuil de significativité statistique a été fixé à $p < 0,05$, conformément aux standards habituellement utilisés dans la littérature scientifique en sciences du sport. En complément du test t de Student pour échantillons indépendants, la taille d'effet de Cohen's d a été calculée afin d'évaluer l'importance pratique des différences observées entre les joueurs évoluant en élite 1 et ceux de l'élite 2. En effet, la significativité statistique (p-valeur) dépend fortement de la taille de l'échantillon. Dans le cadre de cette étude, le nombre relativement limité de joueurs ($n = 10$ en élite 1 ; $n = 16$ en élite 2) pouvait réduire la puissance statistique et masquer certaines différences pourtant pertinentes sur le plan sportif. Le calcul du Cohen's d permet donc de compléter l'analyse en quantifiant l'ampleur réelle de la différence entre deux groupes de façon moins directement dépendante du nombre de sujet.

3.3.4 L'influence du poste

Afin d'étudier l'influence du poste de jeu sur les différentes variables de course, les critères d'exclusion appliqués sont les mêmes que ceux utilisés pour la partie état des lieux, reprenant donc 92 observations pour l'analyse des paramètres suivants : distance totale, distance HSR, le Nb sprints, la Vmax, le Nb d'accélération et décélération à 3 m/s^2 . Ces différentes variables ont également été projetées sur une durée théorique de 80 minutes de jeu.

Chaque joueur des différentes équipes étant évalué sur plusieurs matchs et certains joueurs évoluant à différents postes dans les différentes rencontres, des modèles linéaires à effets mixtes ont été privilégiés.

L'effet fixe des différents modèles est le poste de jeu, traité comme la variable explicative principale, permettant de comparer les performances moyennes entre les différentes positions sur le terrain. Le poste de milieu de terrain a été défini comme catégorie de référence en raison de la représentativité plus importante de son effectif et de sa distance totale moyenne plus élevée.

Les effets aléatoires sont le joueur, l'équipe et le match. Ceux-ci permettent d'isoler la variabilité propre à chaque joueur (profil physique individuel) et la variabilité contextuelle liée aux rencontres (spécificités de l'adversaire, scénario de match, météo, tactique collective...) et ainsi réduire le risque que l'effet attribué au poste soit biaisé.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (version 4.5.3). Les traitements ont été effectués dans l'environnement Rstudio (version 2026.04.0+526). Les modèles linéaires à effets mixtes ont été ajustés à l'aide la fonction `lmer` du package `lme4` (Bates et al., 2015). Les p-valeurs ont été obtenues à l'aide du package `lmerTest`. En cas d'effet significatif du poste, des comparaisons post-hoc entre postes ont été réalisées avec un ajustement de type Tukey via la fonction `emmeans` du même package.

Afin de garantir la validité des modèles, les conditions d'application (normalité des résidus et homoscedasticité) ont été vérifiées à l'aide de tests de diagnostic.

4. RÉSULTATS

4.1 État des lieux des performances de course

Tableau 1. *Statistiques descriptives des variables GPS de courses des joueurs U15 élite 1 et 2 en Belgique projetées sur la totalité d'un match (80 minutes).*

Variable	Moyenne	Minimum	Maximum	n
Score du test de Mirwald	0,56 ($\pm 0,72$)	-0.55	1.88	36
Age moyen	14,56 ($\pm 0,33$)	13.88	15.12	36
Distance totale (m)	8 717,49 ($\pm 981,49$)	5114.63	11167.01	92
Distance/min (m/min)	109,10 ($\pm 12,26$)	63.93	139.59	92
HSR (m) > 19,8km/h	424,08 ($\pm 164,92$)	48.52	861.06	92
HSR/min (m/min)	6,27 ($\pm 2,06$)	0.61	10.76	92
Nombre de sprints > 25km/h	4,45 ($\pm 3,88$)	0.00	17.98	92
Vitesse maximale (km/h)	28,27 ($\pm 2,09$)	22.46	33.88	92
Nb accélérations $\geq 3 \text{ m/s}^2$	57,78 ($\pm 16,23$)	22.00	97.64	62
Nb décélérations $\leq -3 \text{ m/s}^2$	66,22 ($\pm 15,40$)	31.48	96.49	62

(n = nombre d'observations; HSR = high-speed running; Nb accélérations $\geq 3 \text{ m/s}^2$ = nombre d'accélérations supérieures ou égales à 3 m/s^2 ; Nb décélérations $\leq -3 \text{ m/s}^2$ = nombre de décélérations inférieures ou égales à -3 m/s^2).

L'analyse descriptive des données maturationnelles et locomotrices, représentée dans le « Tableau 1 », permet d'établir le profil moyen des observations de joueurs U15 évoluant au sein du championnat belge élite. Les données de maturation concernent 36 joueurs, les principales variables GPS de course portent sur 92 observations retenues après application des critères d'exclusion, tandis que les variables d'accélérations et de décélérations concernent 62 observations.

L'âge moyen observé est de $14,56 \pm 0,33$ ans, avec des valeurs comprises entre 13,88 et 15,12 ans (n = 36). Cela confirme que l'échantillon correspond bien à la catégorie U15 et situe les joueurs dans une période particulièrement sensible du développement pubertaire.

Le score moyen au test de Mirwald est de $0,56 \pm 0,72$, avec un minimum de -0,55 et un maximum de 1,88 (n = 36). Ce résultat indique que la majorité des joueurs se situent autour ou légèrement après leur pic de vitesse de croissance (PHV).

Toutefois, l'amplitude importante des valeurs observées met en évidence une forte hétérogénéité du statut maturationnel : certains joueurs sont encore en phase pré-PHV tandis que d'autres présentent déjà une maturation biologique nettement plus avancée.

La « fig.9 » présente de manière graphique les données d'un point de vue locomoteur. Sur cet aspect, la distance totale moyenne projetée sur 80 minutes est de $8\,717,49 \pm 981,49$ m, avec des valeurs extrêmes allant de $5\,114,63$ m à $11\,167,01$ m ($n = 92$). La distance relative moyenne est de $109,10 \pm 12,26$ m/min, avec un minimum de $63,93$ m/min et un maximum de $139,59$ m/min. Ces résultats traduisent une activité locomotrice soutenue, caractéristique du football de formation de haut niveau, tout en montrant une importante variabilité interindividuelle.

Concernant les courses à haute intensité, les joueurs parcourent en moyenne $424,08 \pm 164,92$ m au-dessus de $19,8$ km/h (HSR), avec des valeurs allant de $48,52$ m à $861,06$ m. Rapportée au temps de jeu, la distance HSR moyenne est de $6,27 \pm 2,06$ m/min, avec un minimum de $0,61$ m/min et un maximum de $10,76$ m/min. Cette dispersion importante suggère l'existence de profils physiques très différents au sein de la catégorie.

Le nombre moyen de sprints ($> 25,2$ km/h) est de $4,45 \pm 3,88$ par match, avec des valeurs comprises entre 0 et 17,98 sprints. La vitesse maximale moyenne atteinte est de $28,27 \pm 2,09$ km/h, avec un minimum observé de $22,46$ km/h et un maximum de $33,88$ km/h. Certains joueurs présentent donc déjà des capacités de vitesse très élevées malgré leur jeune âge, probablement influencées par la maturation biologique et les qualités neuromusculaires individuelles.

Les actions neuromusculaires répétées représentent également une part importante de la charge externe. Les joueurs réalisent en moyenne $57,78 \pm 16,23$ accélérations ≥ 3 m/s², avec des valeurs allant de 22,00 à 97,64 ($n = 62$), ainsi que $66,22 \pm 15,40$ décélérations ≤ -3 m/s², comprises entre 31,48 et 96,49 ($n = 62$). Le nombre plus élevé de décélérations souligne l'importance des contraintes excentriques imposées par le football moderne, notamment dans les phases de freinage, de changements de direction et de transitions rapides.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence une forte dispersion des performances locomotrices au sein de l'échantillon, suggérant l'influence conjointe du poste de jeu, du temps effectif de participation, du niveau de maturation biologique ainsi que des caractéristiques individuelles propres à chaque joueur.

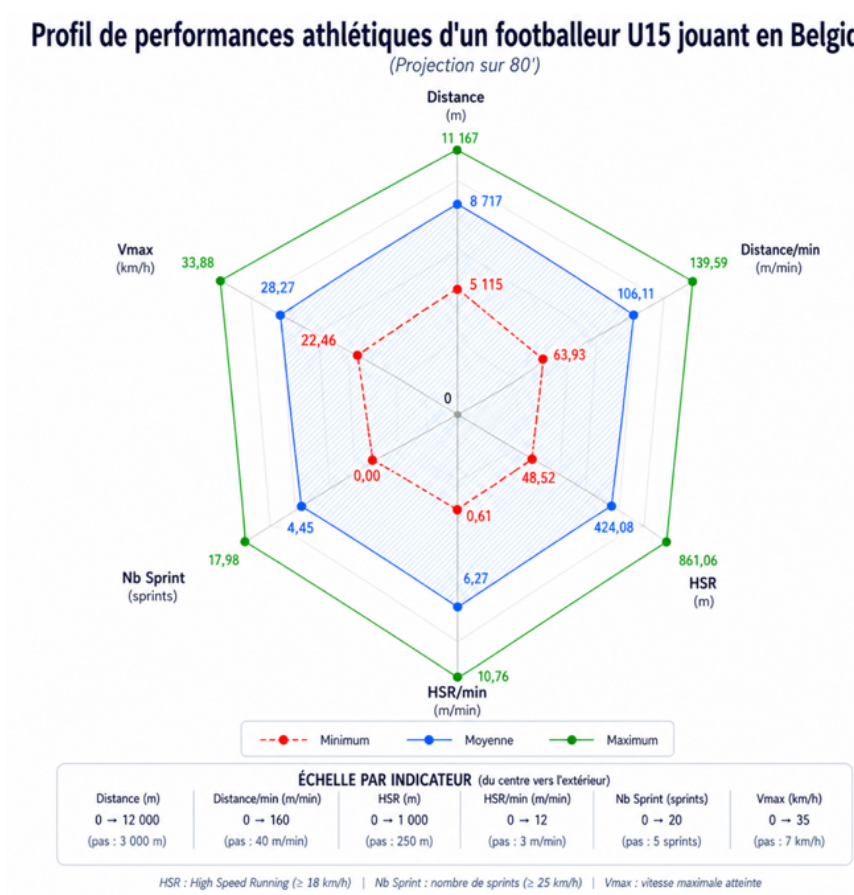


Fig 9. Graphique radar sur les paramètres physiques collectés via les GPS en match chez les joueurs U15 élite en Belgique

4.2 Comparaison entre le niveau élite 1 et élite 2

Tableau 2. Comparaison des variables GPS entre les joueurs U15 élite 1 et élite 2 avec la taille d'effet et son interprétation.

Variable	élite 1 (n=10)	élite 2 (n=16)	p-valeur	Cohen's d	Interprétation
Score du test de Mirwald	1,03 ± 0,70	0,42 ± 0,73	0.17	0.85	Grand effet
Distance totale (m)	8952,75 ± 1003,60	8436,82 ± 846,24	0.31	0.57	Effet modéré
Distance/min (m/min)	111,97 ± 12,48	105,18 ± 10,65	0.29	0.60	Effet modéré
HSR (m) > 19,8km/h	542,97 ± 121,73	408,86 ± 110,61	0.11	1.17	Très grand effet
HSR/min (m/min)	6,79 ± 1,52	4,98 ± 1,31	0.09	1.30	Très grand effet
Nombre de sprints > 25km/h	7,69 ± 4,04	3,19 ± 1,65	0.08	1.61	Effet extrêmement grand
Vitesse maximale (km/h)	31,68 ± 3,70	29,83 ± 2,17	0.29	0.65	Effet modéré
Nb accélérations ≥ 3 m/s ²	61,80 ± 14,33	31,88 ± 29,54	0.07	1.20	Très grand effet
Nb décélérations ≤ -3 m/s ²	70,60 ± 13,17	36,30 ± 32,99	0.07	1.26	Très grand effet

(élite 1 (n=10) = valeurs des 10 joueurs évoluant en élite 1; élite 2 (n=16) = valeurs des 16 joueurs évoluant en élite 2; Cohen's d = taille d'effet; HSR = high-speed running; Nb accélérations ≥ 3 m/s² = nombre d'accélérations supérieures ou égales à 3 m/s²; Nb décélérations ≤ -3 m/s² = nombre de décélérations inférieures ou égales à -3 m/s²).

La comparaison entre les joueurs évoluant en élite 1 (n = 10) et ceux évoluant en élite 2 (n = 16) a été réalisée à l'aide d'un test t de Student pour échantillons indépendants, complété par le calcul de la taille d'effet de Cohen's d. Le test t permet d'identifier l'existence d'une différence statistiquement significative entre les moyennes des deux groupes, avec un seuil de significativité fixé à $p < 0,05$. Le Cohen's d permet quant à lui d'évaluer l'importance pratique de cette différence, indépendamment de la taille de l'échantillon. Selon les seuils classiquement admis, une valeur de $d=0,2$ correspond à un petit effet, $d=0,5$ à un effet modéré, $d=0,8$ à un grand effet, et une valeur supérieure à $d=1,0$ à un très grand effet.

Comme illustré dans le « Tableau 2 », les joueurs d'élite 1 présentent des valeurs moyennes supérieures à ceux de l'élite 2 pour l'ensemble des variables GPS étudiées, ainsi qu'un score de maturation biologique (Mirwald) plus élevé ($1,03 \pm 0,70$ vs $0,42 \pm 0,73$; $p = 0,17$; $d = 0,85$), traduisant un grand effet.

Concernant la distance totale parcourue, les joueurs d'élite 1 couvrent en moyenne $8952,75 \pm 1003,60$ m contre $8436,82 \pm 846,24$ m pour l'élite 2 ($p = 0,31$; $d = 0,57$), ce qui correspond à un effet modéré. De la même manière, la distance relative par

minute estt plus élevée en élite 1 ($111,97 \pm 12,48$ m/min vs $105,18 \pm 10,65$ m/min ; $p = 0,29$; $d = 0,60$), également associée à un effet modéré.

Les différences les plus marquées concernent les variables de haute intensité. La distance de course à haute intensité (HSR) est supérieure en élite 1 ($542,97 \pm 121,73$ m vs $408,86 \pm 110,61$ m ; $p = 0,11$; $d = 1,17$), tout comme la HSR relative par minute ($6,79 \pm 1,52$ m/min vs $4,98 \pm 1,31$ m/min ; $p = 0,09$; $d = 1,30$). Ces deux variables présentent des tailles d'effet très importantes malgré l'absence de significativité statistique.

Le nombre de sprints représente la différence la plus marquée entre les deux groupes, avec $7,69 \pm 4,04$ sprints en moyenne pour l'élite 1 contre $3,19 \pm 1,65$ pour l'élite 2 ($p = 0,08$; $d = 1,61$), correspondant à un effet extrêmement important.

La vitesse maximale atteinte reste également supérieure chez les joueurs d'élite 1 ($31,68 \pm 3,70$ km/h vs $29,83 \pm 2,17$ km/h ; $p = 0,29$; $d = 0,65$), avec un effet modéré. Enfin, les actions neuromusculaires explosives présentent également des différences importantes. Le nombre d'accélérations supérieures ou égales à 3 m/s^2 est près de deux fois plus élevé en élite 1 ($61,80 \pm 14,33$ vs $31,88 \pm 29,54$; $p = 0,07$; $d = 1,20$), tandis que le nombre de décélérations inférieures ou égales à -3 m/s^2 suit la même tendance ($70,60 \pm 13,17$ vs $36,30 \pm 32,99$; $p = 0,07$; $d = 1,26$). Ces deux variables présentent également des tailles d'effet très importantes.

Bien qu'aucune variable n'ait atteint le seuil de significativité statistique ($p < 0,05$), plusieurs variables présentent des p-valeurs proches du seuil ainsi que des tailles d'effet importantes à très importantes. Ces résultats suggèrent que les joueurs évoluant en élite 1 semblent présenter des exigences locomotrices supérieures, particulièrement sur les efforts intermittents de haute intensité, les sprints et les actions explosives d'accélération et de décélération. L'absence de significativité statistique pourrait s'expliquer par la taille relativement faible de l'échantillon, limitant la puissance statistique de l'analyse.

4.3 Relation entre le score au test de Mirwald et les variables GPS

Tableau 3. *Corrélation entre le score de Mirwald et les variables GPS de course des joueurs U15 Elite.*

Variable	r	t	p-valeur	n
Distance totale	-0.16	0.79	0.43	26
Distance/min	-0.14	0.67	0.51	26
HSR	-0.02	0.11	0.91	26
HSR/min	0.05	0.25	0.81	26
Nombre de sprints	0.40	2.12	0,045*	26
Vmax	0.56	3.33	0,003**	26
Nb accélérations $\geq 3 \text{ m/s}^2$	0.20	0.82	0.42	19
Nb décélérations $\leq -3 \text{ m/s}^2$	0.15	0.63	0.54	19

(n = nombre d'observations; HSR = high-speed running; Nb accélérations $\geq 3 \text{ m/s}^2$ = nombre d'accélérations supérieures ou égales à 3 m/s^2 ; Nb décélérations $\leq -3 \text{ m/s}^2$ = nombre de décélérations inférieures ou égales à -3 m/s^2).

Le « Tableau 3 » reprend l'analyse des corrélations de Pearson entre le score de maturité biologique estimé par la méthode de Mirwald et les différentes variables GPS de performances de course. Celle-ci met en évidence deux associations statistiquement significatives.

Une corrélation positive significative a été observée entre le score de Mirwald et le nombre de sprints ($r = 0,40$; $p = 0,045$; $N = 26$). Ce résultat indique qu'un niveau de maturation biologique plus avancé est associé à une meilleure capacité de sprint en match.

Le nombre de sprints présente également une corrélation positive significative avec le score de Mirwald ($r = 0,56$; $p = 0,003$; $N = 26$). Cette relation, plus marquée, suggère que les joueurs biologiquement plus matures réalisent davantage d'actions de sprint au cours d'un match.

À l'inverse, aucune corrélation significative n'a été observée entre le score de Mirwald et les variables de volume global de course. La distance totale ($r = -0,16$; $p = 0,43$), la distance par minute ($r = -0,14$; $p = 0,51$), la distance parcourue à haute intensité (HSR ; $r = -0,02$; $p = 0,91$) ainsi que la distance HSR rapportée au temps

de jeu (HSR/min ; $r = 0,05$; $p = 0,81$) ne montrent pas d'association statistiquement significative.

Concernant les accélérations $\geq 3 \text{ m/s}^2$ et décélérations $\leq -3 \text{ m/s}^2$, les résultats ne montrent également aucune corrélation significative avec le score de Mirwald. Les accélérations présentent un coefficient de corrélation de $r = 0,20$ ($p = 0,42$; $N = 19$) tandis que les décélérations présentent un coefficient de $r = 0,15$ ($p = 0,54$; $N = 19$).

Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que le statut maturationnel semble principalement associé aux actions explosives de sprint plutôt que les variables globales de charge externe ou de volume de course.

4.4 Influence du poste

L'analyse des modèles mixtes, prenant en compte l'effet aléatoire du joueur, du match et de l'équipe, montre dans le « Tableau 4 », que le poste est significativement associé à certaines variables GPS, notamment la distance totale parcourue ainsi que la distance HSR, le Nb sprints, la vitesse maximale (Vmax) et le nombre d'accélérations. Le poste de référence est le milieu de terrain, choisi en raison du plus grand nombre d'observations et de sa charge de course généralement plus élevée.

Tableau 4. Influence du poste sur les variables de course GPS chez les U15 élites.

Predictors	Distance			HSR			Nb_sprints			Vmax			Nb_acc_3			Nb_dec_3		
	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p	Estimates	CI	p
(Intercept)	9155.12	8690.20 – 9620.03	<0.001	385.76	247.91 – 523.61	<0.001	3.47	-0.14 – 7.08	0.059	27.71	25.84 – 29.59	<0.001	54.78	43.08 – 66.47	<0.001	62.91	50.17 – 75.65	<0.001
Poste [Ailier]	-348.08	-872.77 – 176.60	0.191	103.65	0.42 – 206.88	0.049	0.74	-1.09 – 2.58	0.423	0.67	-0.61 – 1.96	0.302	13.43	2.05 – 24.80	0.022	4.19	-6.27 – 14.65	0.425
Poste [Attaquant]	-1009.59	-1681.95 – -337.22	0.004	40.35	-82.32 – 163.01	0.515	3.06	0.59 – 5.54	0.016	1.77	0.20 – 3.33	0.027	-3.30	-23.82 – 17.21	0.748	7.69	-12.49 – 27.86	0.448
Poste [Déf. Central]	-727.09	-1231.71 – -222.47	0.005	23.61	-69.11 – 116.33	0.614	1.49	-0.30 – 3.28	0.102	0.68	-0.49 – 1.86	0.250	-0.04	-11.53 – 11.46	0.995	2.64	-8.40 – 13.69	0.633
Poste [Déf.latéral]	-850.80	-1558.70 – -142.90	0.019	25.11	-104.15 – 154.36	0.700	0.18	-2.41 – 2.76	0.893	-0.48	-2.13 – 1.18	0.568	0.22	-13.81 – 14.26	0.975	2.34	-12.00 – 16.68	0.745
Poste [Piston]	-671.87	-1797.51 – 453.77	0.239	128.57	-68.90 – 326.05	0.199	1.59	-2.69 – 5.88	0.462	0.90	-1.68 – 3.49	0.488						

(Predictors = variables explicatives (poste); Estimates = différences estimées par rapport à la valeur de référence (Intercept); Intercept = milieu de terrain; CI = intervalle de confiance à 95%; p = p-valeur; HSR = high-speed running; Nb_sprints = nombre de sprints; Nb_acc_3 = nombre d'accélérations supérieures ou égale à 3 m/s^2 ; Nb_dec_3 = nombre de décélérations inférieures ou égales à -3 m/s^2).

Au niveau de la distance totale, les différences sont significatives pour plusieurs postes. Comparativement au milieu, les attaquants parcourent en moyenne 1 009 m de moins ($p=0,004$), les défenseurs centraux affichent également une distance moindre (-727m, $p=0,005$) et les défenseurs latéraux parcourent environ 851 m de moins ($p=0,019$). Les ailiers et pistons, bien que présentant une tendance à parcourir moins que les milieux, ne montrent pas de différence significative ($p=0,191$ et $p=0,239$). Ces résultats suggèrent que les milieux de terrain sont les joueurs couvrant les distances les plus importantes durant le match.

L'effet du poste est également significatif pour la distance HSR. Les ailiers réalisent une distance à haute intensité d'environ 104 m plus élevée que les milieux ($p=0,049$), tandis que les autres postes ne présentent pas de différences significatives. Ce résultat suggère que les ailiers participent davantage à des efforts répétés à haute intensité.

Le nombre de sprints est lui significativement supérieur seulement chez les attaquants (+3,06 sprints, $p=0,016$) en comparaison avec les milieux. Les autres postes ne montrent pas de différences marquées ($p > 0,05$).

Pour la V_{max} , une différence statistiquement significative est observée pour les attaquants, qui présentent une vitesse moyenne plus élevée (+1,77 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, $p=0,027$). Cette tendance renforce le profil explosif de ce poste. Seuls les défenseurs latéraux présentent une V_{max} légèrement inférieure aux milieux de terrain, mais de manière non significative ($p = 0,568$).

Enfin, les résultats indiquent que le poste influence le nombre d'accélérations avec des valeurs plus élevées pour les ailiers (+13,43, $p=0,022$), tandis qu'aucune différence n'est observée pour les décélérations. Ces résultats suggèrent que les ailiers réalisent plus d'actions dynamiques nécessitant des changements de rythme. Si les modèles mixtes confirment l'existence d'une influence significative du poste sur la performance, ils ne permettent pas d'isoler précisément quelles paires de postes diffèrent. À cet effet, l'estimation des moyennes marginales (*emmeans*) avec un ajustement de Tukey a été réalisée. Cette procédure, plus conservative, permet

de comparer chaque poste aux autres tout en contrôlant le risque d'erreur lié aux comparaisons multiples.

Cette analyse complémentaire apporte une nuance fondamentale. Pour les variables liées à l'explosivité (HSR, sprints, accélérations), les *emmeans* confirment les tendances observées initialement. Comme illustré dans le « Tableau 5 », les ailiers affichent des valeurs plus élevées concernant la distance HSR ainsi que pour le nombre d'accélérations. Les attaquants affichent quant à eux des valeurs plus élevées dans le nombre de sprints réalisés. Cependant, lorsque l'ajustement de Tukey est appliqué, la plupart des différences spécifiques entre postes ne conservent pas une significativité statistique stricte ($p > 0,05$), ce qui suggère que, dans notre échantillon de joueurs U15, la variabilité inter-individuelle est prépondérante. Cette absence de significativité stricte dans les comparaisons par paires de postes pourrait traduire une relative « homogénéité fonctionnelle » au sein du groupe. Elle suggère que, chez ces jeunes footballeurs, la spécialisation positionnelle est encore en phase de maturation.

Tableau 5. Comparaisons par paires de la distance HSR, du nombre de sprints et du nombre d'accélérations selon le poste.

Comparaison	Différence HSR	p-valeur HSR	Différence Sprints	p-valeur Sprints	Différence acc	p-valeur acc
Milieu - Ailier	-103.65	0.40	-0.74	0.97	-13.43	0.18
Milieu - Attaquant	-40.35	0.99	-3.06	0.18	3.30	1.00
Milieu - Déf. Central	-23.61	1.00	-1.49	0.60	0.04	1.00
Milieu - Def.latéral	-25.11	1.00	-0.18	1.00	-0.22	1.00
Milieu - Piston	-128.57	0.80	-1.59	0.98	NA	NA
Ailier - Attaquant	63.30	0.96	-2.32	0.55	16.73	0.52
Ailier - Déf. Central	80.03	0.79	-0.75	0.99	13.47	0.33
Ailier - Def.latéral	78.54	0.87	0.57	1.00	13.20	0.40
Ailier - Piston	-24.93	1.00	-0.85	1.00	NA	NA
Attaquant - Déf. Central	16.73	1.00	1.57	0.86	-3.26	1.00
Attaquant - Def.latéral	15.24	1.00	2.89	0.53	-3.53	1.00
Attaquant - Piston	-88.23	0.96	1.47	0.99	NA	NA
Déf. Central - Def.latéral	-1.50	1.00	1.32	0.94	-0.26	1.00
Déf. Central - Piston	-104.96	0.91	-0.10	1.00	NA	NA
Def.latéral - Piston	-103.47	0.95	-1.42	0.99	NA	NA

(Les colonnes «Différence» représentent l'écart entre les deux postes comparés, HSR = High Speed Running, colonnes HSR = valeurs pour la distance HSR, colonnes sprints = valeurs pour le nombre de sprints, colonnes acc = valeurs pour le nombre d'accélérations, colonnes P-valeur = p-valeur de l'écart concerné).

5. DISCUSSION

5.1 Pertinence des participants

Le choix des participants constitue un élément central de cette étude, dans la mesure où l'objectif principal du mémoire était d'établir un état des lieux des exigences physiques des jeunes joueurs de football U15 évoluant dans les centres de formation belges, tout en analysant l'influence du niveau de jeu, de la maturation biologique et du poste sur les performances observées. De plus, La littérature internationale fournit de nombreuses données sur les joueurs anglais, espagnols ou portugais, mais peu de références spécifiques au contexte belge existent actuellement, en particulier dans la catégorie U15.

La catégorie U15 représente une période particulièrement pertinente à étudier, car elle correspond à une phase charnière du développement du jeune footballeur. À cet âge, la majorité des joueurs se situent autour du pic de vitesse de croissance (PHV), généralement observé aux alentours de $13,8 \pm 0,8$ ans chez les jeunes footballeurs (Philippaerts et al., 2006 ; Deprez et al., 2015). Étudier cette catégorie permet donc d'analyser des joueurs en pleine transition biologique, période où les écarts interindividuels sont particulièrement marqués.

L'inclusion de joueurs issus à la fois du championnat élite 1 et du championnat élite 2 permet également d'apporter une dimension comparative importante au travail. L'élite 1 représente le plus haut niveau de compétition nationale dans cette catégorie, tandis que l'élite 2 constitue le niveau immédiatement inférieur (« fig.2 »), mais reste composé de structures de formation performantes. Cette comparaison permet d'objectiver d'éventuelles différences de charge externe et de profil physique selon le niveau de performance. Cependant, une comparaison entre le niveau élite et les niveaux amateurs devrait davantage mettre en évidence d'éventuelles différences.

Les gardiens de but ont volontairement été exclus de l'analyse en raison des exigences locomotrices moindres de ce poste (Di Salvo et al., 2007 ; Kubayi, 2019). Leur inclusion aurait introduit un biais important dans l'interprétation des variables GPS et diminué la cohérence de l'échantillon.

Le critère d'exclusion imposant un minimum de 60 minutes de temps de jeu sur les 80 minutes réglementaires (soit 75 % du temps de match) apparaît également méthodologiquement pertinent dans l'optique d'obtenir des données représentatives des exigences réelles de la compétition d'un point de vue global et spécifique au poste mais il peut aussi exclure des profils de joueurs remplaçants.

Enfin, pour les analyses portant sur les corrélations avec le score de Mirwald ainsi que sur la comparaison entre l'élite 1 et l'élite 2, seuls les joueurs ayant participé à un minimum de deux matchs ont été retenus, avec calcul d'une moyenne individuelle par joueur afin de limiter l'influence de facteurs contextuels ponctuels et d'obtenir un profil physique plus représentatif de chaque joueur, ce qui renforce la validité des analyses statistiques réalisées.

5.2 Pertinence des protocoles et outils utilisés

Le choix des protocoles utilisés dans cette étude visait à obtenir des données fiables, reproductibles et directement applicables au contexte du football de formation.

L'utilisation du GPS comme outil principal de mesure de la charge externe apparaît particulièrement pertinente. Aujourd'hui, le suivi GPS constitue une référence dans les clubs professionnels pour quantifier les exigences physiques des matchs et des entraînements.

Le choix de dispositifs GPS à 10 Hz renforce également la validité des mesures. La littérature montre que cette fréquence permet une meilleure précision dans la détection des sprints courts, des changements de direction et des efforts explosifs, particulièrement fréquents chez les jeunes joueurs (Hennessy & Jeffreys, 2018). Toutefois, malgré leur amélioration par rapport aux anciens systèmes à faible fréquence, ceux-ci conservent certaines limites dans la détection des efforts très courts, des changements de direction et des accélérations et décélérations.

Le recours au test de Mirwald constitue également un choix pertinent pour estimer le statut de maturation biologique. Cette méthode permet d'évaluer le maturity offset et la proximité avec le PHV à partir de simples mesures anthropométriques, sans recours à des méthodes invasives comme l'âge osseux. Elle reste aujourd'hui

largement utilisée dans les études portant sur les jeunes footballeurs (Mirwald et al., 2002 ; Philippaerts et al., 2006).

La projection des variables sur 80 minutes permet de standardiser les performances malgré les différences de temps de jeu et facilite la comparaison entre joueurs. Cependant, cette méthode repose sur l'hypothèse d'une évolution linéaire constante de l'intensité de course au cours du match, ce qui ne reflète pas la réalité. Cette extrapolation pourrait ainsi surestimer certaines variables chez les joueurs ayant participé à un temps de jeu réduit.

Le choix des analyses statistiques semble également adapté aux objectifs de recherche. L'ajout du Cohen's d mesure l'importance pratique des différences observées, indépendamment de la taille de l'échantillon. Cela est particulièrement utile dans le domaine sportif, où une différence peut être pertinente sur le terrain sans être statistiquement significative.

Enfin, l'utilisation de modèles linéaires mixtes pour l'analyse du poste de jeu permet de mieux prendre en compte la répétition des observations chez un même joueur ainsi que l'influence du contexte de match.

Dans l'ensemble, les protocoles retenus apparaissent cohérents avec les objectifs du mémoire et permettent une analyse pertinente des exigences physiques du football U15 bien que limitée par la taille de l'échantillon dû à la complexité de se procurer ce type de données sensibles dans le monde du football élite et de la marque de l'outil GPS différent utilisés dans les clubs.

5.3 Interprétation de l'État des lieux des performances de course

L'analyse descriptive des données GPS a permis d'établir un premier état des lieux des exigences locomotrices des joueurs U15 évoluant au niveau élite en Belgique. La distance totale moyenne observée, projetée sur 80 minutes de jeu, est de 8 717 m, avec une distance relative moyenne de 106 m/min. Ces valeurs restent inférieures à celles généralement observées chez les joueurs adultes élites, où la distance totale se situe fréquemment entre 10 et 11 km par match (Di Salvo et al., 2007). Cette différence s'explique logiquement par le niveau de maturation physiologique encore incomplet des joueurs U15, ainsi que par des exigences

tactiques et athlétiques différentes entre le football de formation et le football professionnel.

Les valeurs de HSR (424 m en moyenne) et de HSR/min (6,27 m/min) montrent que les efforts à haute intensité représentent déjà une composante importante de la performance à cet âge. Toutefois, ces volumes restent inférieurs à ceux rapportés chez les joueurs adultes élites, chez qui la course à haute intensité occupe une place encore plus importante dans la performance moderne (Bradley et al., 2016 ; Pons et al., 2021). Cela suggère que l'augmentation du niveau de jeu s'accompagne d'une augmentation progressive des exigences neuromusculaires et métaboliques.

Le nombre moyen de sprints (4,45 par match) et la vitesse maximale moyenne (28,27 km/h) illustrent également cette progression. Certains joueurs atteignent déjà des vitesses proches de celles observées dans des catégories supérieures, ce qui souligne l'hétérogénéité importante des profils physiques au sein de la catégorie U15.

Les accélérations et décélérations observées rappellent que le football ne se résume pas à la distance parcourue. Le jeu repose principalement sur des efforts intermittents courts, des changements de rythme répétés, des freinages et des réaccélérations. Plusieurs auteurs soulignent que ces actions peuvent être encore plus coûteuses sur le plan neuromusculaire que la simple course à haute vitesse (Harper et al., 2019). Leur prise en compte apparaît donc essentielle dans l'analyse de la charge externe.

La forte dispersion observée entre les valeurs minimales et maximales confirme que la performance locomotrice ne peut être interprétée de manière uniforme chez les jeunes joueurs. Le poste occupé, la stratégie de jeu, le niveau adverse, la maturation biologique ainsi que les caractéristiques individuelles influencent fortement les résultats. Cette observation renforce l'idée que les valeurs GPS doivent être interprétées de manière individualisée plutôt que sur la seule base de moyennes générales.

Enfin, l'un des apports majeurs de cette étude réside dans la proposition de valeurs de référence spécifiques au contexte belge U15. Ces résultats permettent d'apporter un cadre de référence utile aux clubs, tant pour le suivi de la performance que pour l'individualisation de l'entraînement et la détection des talents.

Le manque d'études fiables à propos de la catégorie U15 d'autres pays jouant avec les mêmes règles de jeux que ceux de notre étude nous a amené à comparer nos données récoltées avec celles d'adultes professionnels en Belgique et en France. Néanmoins, cette comparaison, illustré à la « fig.10 », doit être interprétée avec prudence, les différences observées pouvant être influencées non seulement par l'âge et le niveau de jeu, mais également par les différences de durée de match, de contexte compétitif, de méthodologie et de systèmes GPS utilisés entre les études.

VARIABLES	JOUEURS U15 BELGIQUE (Projection sur 80 minutes (2x40)) N = 92	JOUEURS ADULTES D1 BELGE (Van de Castele et al., 2024) Match complet 90 minutes (2x45)	LIGUE 1 (UEFA – B Fitness CFS_231 : Les facteurs de performances) Match complet 90 minutes (2x45)	Δ U15 vs D1 BELGE (en %)	Δ U15 vs LIGUE 1 (en %)
Distance totale (m) TD	8 717,49 (±981,49) Min : 5 114,63 – Max : 11 167,01	10 350 (±698,85)	10 185	-15,8 % ●	-14,4 % ●
Distance/min (m/min) Vitesse relative	109,10 (±12,26) Min : 63,93 – Max : 139,59	115,00 (10 350 m / 90 min)	108,2 (Vitesse relative m/min)	-5,1 % ●	+0,8 % ●
Distance à haute intensité (m) HSR > 19,8 km/h *	424,08 (±164,92) Min : 48,52 – Max : 861,06	612 (±152,1)	831 (> 20 km/h)	-30,7 % ●	-48,9 % ●
Distance à haute intensité par minute (m/min) HSR > 19,8 km/h *	5,30 (±2,06) (424,08 m / 80 min)	6,80 (10 350 m / 90 min) (±1,69)	9,23 (> 20 km/h) (831 m / 90 min)	-22,1 % ●	-42,6 % ●
Nb accélérations ≥ 3 m/s ²	57,78 (±16,23) Min : 22,00 – Max : 97,64	–	68 (≥ 3 m/s ²)	–	-15,0 % ●
Nb décélérations ≤ -3 m/s ²	66,22 (±15,40) Min : 31,48 – Max : 96,49	–	75 (≤ -3 m/s ²)	–	-11,7 % ●
	SOURCE Mémoire UCL 2025–2026 (W. Berger & T. Heylen)	SOURCE Van de Castele, F., Deprez, D., Van Haeren, J., Derave, W., & Lievens, E. (2024). <i>Sport & Med Sci Sports</i> , 34(1), e14508. https://doi.org/10.1111/sms.14508	SOURCE UEFA – B Fitness CFS_231 : Les facteurs de performances	–	–

LÉGENDE DES INDICATEURS (Δ %)

- Différence faible : ≤ 10 %
- Différence modérée : 10 à 25 %
- Grande différence : > 25 %
- Donnée non disponible : –

PRINCIPAUX CONSTATS

- Les joueurs U15 parcourent en moyenne -14 à 15 % de distance totale en moins que les joueurs de Ligue 1.
- Les différences les plus marquées concernent les efforts à haute intensité : -31 % de distance HSR et -43 % par minute par rapport à la Ligue 1.
- L'intensité relative (distance/min) des U15 (109,1 m/min) est très proche de celle observée en Ligue 1 (108,2 m/min), malgré une durée de match plus courte.

NOTES

- Les valeurs des joueurs U15 représentent une PROJECTION sur 80 minutes (2x40). Les valeurs des joueurs adultes D1 belge et Ligue 1 correspondent à des MATCHS COMPLETS de 90 minutes (2x45).
- * Le seul HSR utilisé en Ligue 1 (>20 km/h) est considéré comme méthodologiquement comparable au seuil utilisé dans cette étude (> 19,8 km/h).
- Toutes les données sont présentées en moyennes ± écart-type.

Fig 10. Comparaison des données récoltées en match via l'outil GPS avec la la plus haute division adulte en Belgique (Van de casteele et al, 2024) et en France (Uefa B Fitness)

5.4 Interprétation de la comparaison entre les 2 niveaux (élite 1 et élite 2)

La comparaison entre les joueurs évoluant en élite 1 et ceux évoluant en élite 2 met en évidence une tendance générale : les joueurs d'élite 1 présentent des valeurs supérieures sur l'ensemble des variables GPS étudiées ainsi qu'un score de maturation biologique plus élevé.

Les différences les plus marquées concernent principalement les variables liées à l'intensité et à l'explosivité, notamment le HSR, le HSR/min, le Nb sprints, la Vmax ainsi que le Nb accélérations et décélérations à haute intensité. Les joueurs d'élite 1 réalisent davantage d'efforts explosifs et de courses à haute vitesse, ce qui suggère que le niveau supérieur de compétition pourrait imposer des exigences neuromusculaires plus importantes. Cette tendance est cohérente avec la littérature montrant que les différences entre niveaux de performance s'observent davantage sur les actions à haute intensité que sur la distance totale seule (Bradley et al., 2016 ; Pons et al., 2021).

La distance totale et la distance relative sont également supérieures chez les joueurs d'élite 1, mais les écarts restent moins marqués. Cela va dans le sens de l'idée que la distance totale, bien qu'utile, est parfois moins discriminante que les variables de haute intensité pour différencier les niveaux de jeu. Le football moderne repose davantage sur la capacité à répéter des efforts explosifs que sur le simple volume de course.

Malgré ces tendances favorables à l'élite 1, plusieurs variables ne présentent pas de significativité statistique stricte ($p < 0,05$). Cette absence de significativité ne signifie pas nécessairement qu'il n'existe pas de différence réelle entre les groupes. Le faible effectif de l'échantillon ($n = 10$ en élite 1 ; $n = 16$ en élite 2) limite la puissance statistique de l'analyse et augmente le risque de ne pas détecter certaines différences pourtant pertinentes sur le plan pratique.

Selon l'utilisation de Cohen's d, certaines variables présentent ainsi des effets modérés à importants malgré l'absence de significativité statistique, ce qui renforce l'idée que ces différences restent sportivement pertinentes.

Le score de Mirwald plus élevé observé chez les joueurs d'élite 1 suggère également une maturation biologique légèrement plus avancée. Une partie des différences observées entre élite 1 et élite 2 peut donc être partiellement expliquée par cette avance maturative.

Ces résultats soulignent également une réalité bien connue dans le football de formation : le niveau de compétition ne dépend pas uniquement du talent technico-tactique, mais aussi fortement du développement physique et biologique du joueur. Cela pose la question du risque de survalorisation des joueurs précocement matures dans les processus de sélection.

Enfin, comme présenté de manière graphique dans la « fig.11 », même si toutes les différences ne sont pas statistiquement significatives, l'ensemble des résultats suggère que l'élite 1 présentent des exigences physiques supérieures à l'élite 2, particulièrement sur les variables de performance les plus déterminantes dans le football moderne.

Comparaison du profil athlétique U15 : Élite 1 vs Élite 2
Projection sur 80' — variables GPS et score de Mirwald

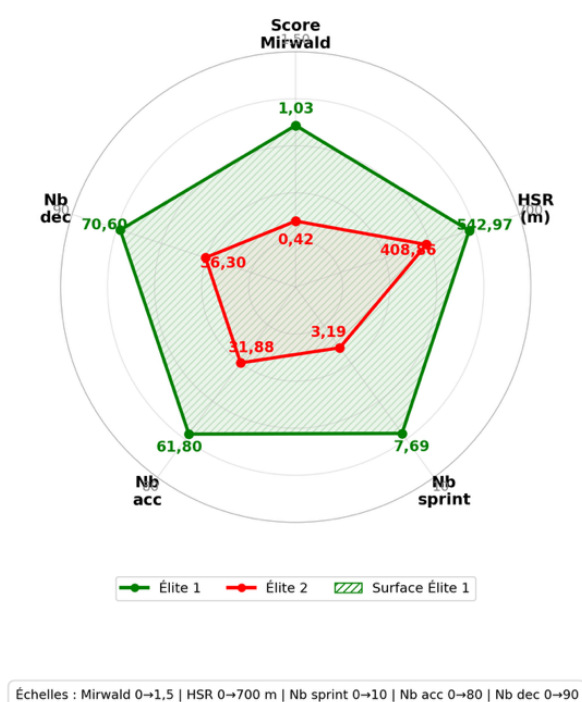


Figure 11. Graphique radar de comparaison des moyennes des variables (Mirwald, HSR, Nb sprint, Nb acc, Nb dec) entre les niveaux élite 1 et élite 2 au sein de la catégorie U15 en Belgique en projection sur 80 minutes.

5.5 Interprétation de l'influence de la maturation biologique (Mirwald)

Les corrélations les plus marquées concernent la vitesse maximale (V_{max}), présentée en « fig.12 », et le nombre de sprints, illustrée à la « fig.13 ». Ces deux

paramètres présentent des relations positives et significatives avec le score de Mirwald. Cela suppose que les joueurs les plus avancés dans leur maturation biologique tendent à réaliser davantage d'actions explosives et à atteindre des vitesses maximales plus élevées. Ce résultat est cohérent avec la littérature, qui montre que les joueurs maturant précocement présentent généralement de meilleures performances en sprint, en saut et en puissance musculaire (Philippaerts et al., 2006 ; Figueiredo et al., 2009).

Cette supériorité pourrait s'expliquer en partie par les modifications anthropométriques et hormonales associées à la puberté. Les joueurs plus matures présentent souvent une taille plus importante, une masse musculaire plus développée, une meilleure production de force ainsi qu'une amélioration de la coordination neuromusculaire. Ces adaptations favorisent directement les capacités d'accélération, de sprint et la vitesse maximale, qui sont des qualités particulièrement discriminantes dans le football moderne.

À l'inverse, les corrélations observées avec la distance totale, la distance/minute, le HSR ou le HSR/min restent faibles voire nulles. Cela suggère que les capacités d'endurance locomotrice globale dépendent moins directement du statut maturationnel et davantage d'autres facteurs.

Intégrer la maturation biologique permet de mieux contextualiser les performances observées et d'éviter de surévaluer certains profils uniquement sur la base d'un avantage développemental transitoire. Cela soutient également l'approche qui vise à regrouper les joueurs selon leur maturité biologique plutôt que selon leur âge chronologique. D'un point de vue pratique, ces résultats encouragent les staffs techniques à interpréter les données GPS avec prudence, notamment lorsqu'il s'agit d'évaluer les performances de sprint, de vitesse ou de puissance.

Ainsi, nos résultats suggèrent que la maturation biologique constitue un facteur dans l'interprétation des performances physiques des joueurs U15, particulièrement sur les variables d'explosivité, et paraît importante à intégrer dans les processus de détection, de suivi et de développement des jeunes talents.

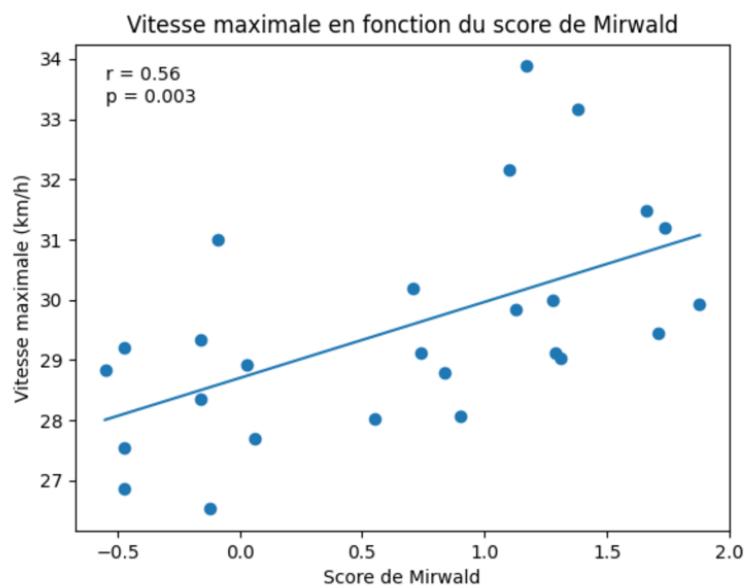


Figure 12. Graphique en nuage de points de la vitesse maximale en fonction du score de Mirwald.

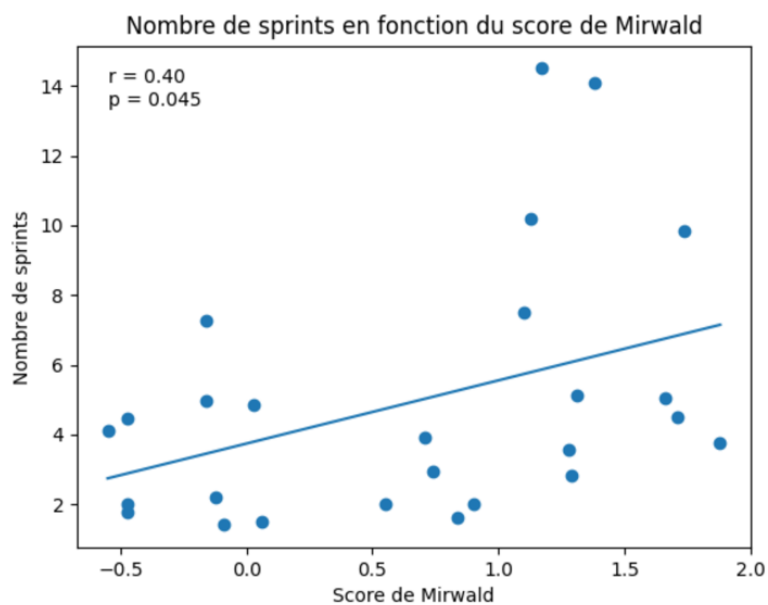


Figure 13. Graphique en nuage de points du nombre de sprints en fonction du score de Mirwald.

5.6 Interprétation de l'influence du poste de jeu

L'analyse de l'effet du poste de jeu met en évidence que les exigences physiques varient fortement selon le rôle occupé sur le terrain. Le poste constitue un facteur

essentiel dans l'interprétation des données GPS et dans l'individualisation de l'entraînement.

Les milieux de terrain présentent généralement les plus grandes distances totales parcourues. Ils sont sollicités sur un volume important de déplacements à intensité variable, ce qui explique leur charge locomotrice globale élevée. Cette tendance est régulièrement observée aussi bien chez les jeunes joueurs que chez les adultes élites (Kubayi, 2019 ; Saward et al., 2016).

Les attaquants ainsi que les joueurs de couloir (ailiers et latéraux offensifs) réalisent quant à eux davantage d'efforts à haute intensité et de sprints. Leurs missions impliquent fréquemment des appels en profondeur, des courses de rupture, des transitions rapides et des actions explosives sur courtes distances.

Les défenseurs centraux présentent généralement les plus faibles distances totales ainsi que les plus faibles volumes de HSR. Leur rôle tactique repose davantage sur le placement, l'anticipation et les déplacements courts que sur les courses répétées à haute vitesse. Toutefois, ils restent fortement sollicités sur des actions explosives courtes comme les accélérations, les changements de direction et les interventions défensives rapides.

D'un point de vue pratique, ces résultats soulignent l'importance d'individualiser les contenus d'entraînement selon le poste occupé. Une préparation physique uniforme pour tous les joueurs apparaît peu pertinente. Les milieux de terrain nécessitent davantage de travail sur la capacité de répétition des efforts, tandis que les attaquants et les joueurs de couloir doivent être particulièrement préparés aux efforts explosifs et aux sprints répétés. Les défenseurs centraux, quant à eux, nécessitent un travail important sur les accélérations courtes, la réactivité et la force excentrique liée aux décélérations.

Cette individualisation pourrait contribuer à mieux optimiser la performance, mais également de mieux prévenir les blessures en adaptant les charges de travail aux contraintes réelles du poste bien que les jeunes joueurs ne possèdent pas encore totalement les profils athlétiques spécifiques à leur poste adulte ou que les consignes tactiques sont moins rigides que chez les professionnels.

Ainsi, l'analyse du poste de jeu suggère que la performance GPS ne devrait pas être interprétée de manière globale chez les jeunes footballeurs. Le poste représente un déterminant majeur de la charge externe et doit être intégré dans toute démarche de suivi de performance et de développement du joueur.

5.7 Applications pratiques

Les résultats de cette étude ouvrent plusieurs perspectives pratiques pour les structures de formation et les différents acteurs impliqués dans le développement des jeunes footballeurs belges. En combinant l'analyse de la charge externe via les données GPS et l'évaluation du statut maturationnel, ce travail met en évidence plusieurs éléments pouvant contribuer à une meilleure compréhension des exigences physiques de la catégorie U15 élite.

Tout d'abord, les valeurs locomotrices observées dans cette étude constituent des repères spécifiques au contexte du football belge U15 élite. Les données relatives à la distance totale parcourue, aux courses à haute intensité, aux sprints, à la vitesse maximale ainsi qu'aux accélérations et décélérations peuvent fournir des points de référence utiles aux préparateurs physiques, entraîneurs et responsables de formation dans le suivi et la planification des charges de travail. Ces résultats peuvent notamment contribuer à une meilleure structuration des microcycles et mésocycles d'entraînement, en rapprochant davantage les contenus physiques des exigences réelles de la compétition.

Les résultats liés à la maturation biologique constituent également un apport important de ce travail. Les corrélations observées entre le score de Mirwald et certaines variables explosives, comme la vitesse maximale et le nombre de sprints, suggèrent qu'un joueur biologiquement plus avancé peut bénéficier d'un avantage temporaire sur le plan physique et locomoteur. À l'inverse, des joueurs plus tardifs dans leur développement biologique peuvent présenter des performances physiques momentanément inférieures malgré un potentiel de progression important à long terme. Ces résultats soulignent l'intérêt d'intégrer davantage le statut maturationnel dans l'interprétation des données physiques, mais également dans les processus d'entraînement, de suivi et de détection des jeunes joueurs. Ils encouragent ainsi

une approche plus individualisée du développement physique, tenant compte des différences biologiques importantes observées à cet âge.

L'analyse du poste de jeu met également en évidence des profils locomoteurs différents selon les rôles tactiques occupés sur le terrain. Les milieux de terrain semblent davantage sollicités sur le volume global de course, tandis que les attaquants et joueurs de couloir présentent des exigences plus importantes sur les efforts explosifs et les courses à haute intensité. Ces observations peuvent aider les staffs à individualiser davantage les contenus physiques selon les exigences spécifiques du poste, tout en tenant compte du fait qu'à cet âge, les profils athlétiques et tactiques des joueurs restent encore en développement.

Enfin, ce travail peut également sensibiliser l'ensemble des acteurs de terrain — préparateurs physiques, entraîneurs, responsables de formation, staffs de performance et, dans une moindre mesure, intervenants médicaux — à l'importance d'une lecture contextualisée des données GPS. Les valeurs recueillies ne doivent pas être considérées comme des normes fixes, mais plutôt comme des repères permettant de mieux comprendre les exigences de la catégorie U15 élite belge et d'accompagner le développement progressif du jeune joueur. Ainsi, la principale plus-value pratique de cette étude réside dans l'apport de premières références locomotrices spécifiques au contexte belge, tout en proposant une interprétation intégrant le niveau de jeu, le poste et la maturation biologique dans une logique de développement à long terme du joueur.

6. LIMITES DE L'ETUDE

Bien que les résultats obtenus apportent des éclairages significatifs sur les exigences physiques des footballeurs U15 élites, plusieurs limites méthodologiques et contextuelles doivent être prises en considération lors de l'interprétation de ces données. La « fig.14 » reprend de façon synthétique les limites détaillées dans les points suivants.

6.1 Puissance statistique et représentativité de l'échantillon

La première limite réside dans la taille relativement restreinte de l'échantillon, particulièrement lors de la comparaison entre les sous-groupes (élite 1 vs élite 2, $n=26$). Cette faible puissance statistique peut augmenter le risque de ne pas détecter une différence qui existe réellement et limiter la généralisation des résultats à l'ensemble de la population des footballeurs de formation belge. Cette contrainte a été accentuée par des pertes de données inhérentes aux dysfonctionnements techniques des unités GPS mais également par les contraintes organisationnelles des structures de formation sollicitées. En effet, les centres de formation belges utilisent très peu leurs dispositifs GPS pour les catégories U15, ceux-ci étant généralement réservés aux groupes plus âgés (U16-U18-U23). De plus, ces clubs partagent rarement ce type de données pour des raisons de confidentialité et de compétitivité interne. Dans ce contexte, la mise à disposition et l'exploitation de données GPS sur des joueurs U15 constituent un accès exceptionnel, expliquant la limitation du volume de données exploitable.

6.2 Standardisation des temps de jeu et extrapolation

L'hétérogénéité des temps de jeu a nécessité une normalisation des données sur une durée théorique de 80 minutes (durée réglementaire en U15). Bien que cette procédure soit couramment utilisée en sciences du sport pour comparer des volumes de course, elle introduit un biais potentiel. En effet, l'extrapolation linéaire ne tient pas compte de la baisse physiologique de l'intensité en fin de rencontre ou de la fatigue résiduelle, ce qui peut surestimer ou sous-estimer la réalité physique d'un match complet.

6.3 Biais instrumentaux et métrologiques

L'utilisation concomitante de deux marques de dispositifs GPS distincts constitue une limite métrologique. Bien que les deux systèmes opèrent sur une fréquence d'échantillonnage identique (10 Hz), la littérature scientifique a démontré que des algorithmes de traitement de données propriétaires peuvent induire des variations inter-marques, notamment sur les variables de haute intensité et les changements de direction rapides.

6.4 Facteurs environnementaux et pré-compétitifs

L'étalement temporel de la collecte de données sur plusieurs mois introduit des variables non contrôlées telles que l'évolution de la maturité biologique des joueurs (maturation physique au cours de l'année) et les variations de l'état de forme. De plus, l'absence de standardisation des protocoles d'échauffement, gérés de manière autonome par les staffs respectifs de chaque club, peut influencer les performances initiales enregistrées lors des premières séquences de match.

6.5 Facteurs tactiques

Au niveau de l'animation collective, les consignes tactiques spécifiques (ex : bloc bas vs pressing haut) influencent directement le nombre d'accélération et la distance à haute intensité.

Enfin, l'analyse ne prend pas en compte "l'accoutumance" au poste. Un joueur polyvalent repositionné occasionnellement (par exemple, un milieu de terrain évoluant en tant qu'ailier) peut ne pas produire les profils de course caractéristiques du poste en raison d'un manque de repères tactiques.

6.6 Facteurs contextuels au match

Malgré l'utilisation de modèles mixtes pour isoler certains effets, la performance physique en football est multidimensionnelle. Plusieurs facteurs externes n'ont pu être totalement contrôlés. D'abord, le niveau de l'opposition et le scénario du match peuvent influencer les réactions des joueurs. Un score fleuve ou une opposition déséquilibrée modifient drastiquement les comportements de course. L'état de fatigue pré-match peut également avoir un impact important sur la répétition des efforts le jour du match. L'étude ne tient pas compte de la charge d'entraînement subie par les joueurs durant la semaine précédant les matchs enregistrés, ce qui influence pourtant la capacité de haute intensité le jour J.

Enfin, la surface de jeu (gazon naturel vs synthétique de générations différentes) ainsi que les dimensions du terrain vont respectivement impacter les appuis, les capacités d'accélération, les décélérations et les opportunités de sprints longs.



Figure 14. Synthèse des limites du mémoire de Berger et Heylen 2025-2026

7. CONCLUSION

Notre mémoire poursuivait un triple objectif :

- 1) Établir des valeurs de référence en termes de charge externe lors d'un match de football dans la catégorie U15 Elite du championnat belge.
- 2) Comparer les performances de course entre le niveau Elite 1 et le niveau Elite 2.
- 3) Analyser les interactions entre les différentes variables GPS collectées avec le statut maturationnel et le poste de jeu.

Sur la base des 92 observations, les résultats ont permis d'établir des premières valeurs descriptives pour des jeunes joueurs U15 du championnat Elite belge lors d'un match de 80 minutes pour les variables suivantes : Distance totale, distance/min, distance HSR, distance HSR/min, Nb sprints, Vmax, Nb acc et Nb dec. Ces valeurs, bien qu'inférieures aux valeurs d'adultes élités, ont montré une activité locomotrice soutenue, démontrant l'importance des courses à haute intensité ainsi que des actions neuromusculaires répétées.

L'un des principaux apports de ce travail réside dans son caractère novateur dans le contexte belge. À notre connaissance, peu d'études ont analysé de manière

spécifique les exigences physiques des joueurs U15 élite belges à partir de données GPS de match combinées à une estimation du statut maturationnel et aux postes de jeu. Ce mémoire permet ainsi de proposer des premières données de référence applicables au terrain pour les structures de formation belges.

Une forte dispersion des performances a également été mise en évidence, suggérant l'influence de divers facteurs tels que le poste de jeu, le niveau de maturation biologique ou encore les caractéristiques propres à chaque joueur. Cette importante variabilité renforce l'idée que la performance physique chez les jeunes joueurs ne peut être interprétée de manière uniforme ou uniquement à partir de moyennes collectives.

Bien que l'échantillon soit limité, cette dispersion des performances semble davantage se démarquer en faveur des joueurs évoluant dans le championnat élite 1 et ce particulièrement sur les efforts intermittents de haute intensité, les sprints et les actions explosives d'accélération et de décélération. Cela suggère que l'augmentation du niveau de jeu dans le football moderne se traduit principalement par une intensification des actions neuromusculaires et explosifs plutôt que par une augmentation du volume de course total.

La comparaison entre le score de Mirwald et les variables GPS a mis en évidence que le statut de maturité influence significativement les capacités d'explosivité et de vitesse maximale, tout en ayant peu d'impact sur le volume global de course. Ce constat est crucial pour les centres de formation, un avantage physique lié à une maturation précoce pouvant masquer le potentiel technique ou tactique réel d'un joueur et renforcer le risque de biais de sélection. Ces résultats soulignent ainsi l'importance d'intégrer davantage la maturation biologique dans les processus de suivi, d'entraînement et de détection des jeunes talents.

De son côté, l'analyse du poste a confirmé que les exigences physiques varient selon la fonction tactique occupée sur le terrain. Les milieux de terrain présentent des volumes de course plus importants, tandis que les attaquants et joueurs de couloir se distinguent davantage sur les efforts explosifs et les courses à haute intensité. Toutefois, la perte de significativité après ajustement de Tukey suggère que chez

les jeunes footballeurs U15, la spécialisation positionnelle reste encore en phase de développement et que les profils locomoteurs ne sont pas encore totalement stabilisés comme chez les joueurs adultes.

D'un point de vue pratique, nous considérons que les résultats de cette étude plaident en faveur d'une individualisation accrue de l'entraînement chez les jeunes joueurs, notamment en ce qui concerne les paramètres de course et la gestion de la charge externe. L'utilisation systématique d'outils de suivi GPS ainsi que l'intégration du score de Mirwald nous semblent particulièrement pertinentes afin de mieux contextualiser les performances physiques observées. Cette approche pourrait permettre une planification plus adaptée des charges d'entraînement, un suivi plus précis du développement du joueur ainsi qu'une meilleure prévention des situations de surcharge ou de sous-sollicitation. L'utilisation systématique de la mesure de maturation (score de Mirwald) nous semble pertinente pour contextualiser les performances et envisager des stratégies telles que le regroupement par niveau de maturité.

Enfin, malgré certaines limites méthodologiques, notamment la taille de l'échantillon, l'utilisation de différents systèmes GPS et l'influence des nombreux facteurs contextuels propres au football, ce mémoire ouvre des perspectives intéressantes pour la recherche appliquée au football belge de formation. Des études longitudinales impliquant un plus grand nombre de clubs permettraient d'établir des bases de référence plus solides concernant la charge externe des jeunes joueurs et d'améliorer encore la compréhension des exigences physiques du football de haut niveau chez les catégories de formation.

En conclusion, la principale plus-value de ce mémoire réside dans l'apport de données objectives, contextualisées et directement applicables au terrain concernant les exigences locomotrices des joueurs U15 élite belges. Nos résultats montrent que la performance physique chez les jeunes joueurs dépend d'une interaction complexe entre le niveau de jeu, le poste occupé et surtout le statut maturationnel. Cette étude souligne ainsi l'importance d'une approche plus individualisée du développement physique dans le football de formation, afin de mieux accompagner le potentiel réel de chaque joueur.

8. BIBLIOGRAPHIE

- Abbott, W., Williams, S., Brickley, G., & Smeeton, N. J. (2019). Effects of Bio-Banding upon Physical and Technical Performance during Soccer Competition: A Preliminary Analysis. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(8), 193. <https://doi.org/10.3390/sports7080193>
- Abt, G., & Lovell, R. (2009). The use of individualized speed and intensity thresholds for determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 893–898. <https://doi.org/10.1080/02640410902998239>
- Akenhead, R., Harley, J. A., & Tweddle, S. P. (2016). Examining the External Training Load of an English Premier League Football Team With Special Reference to Acceleration. *Journal of strength and conditioning research*, 30(9), 2424–2432. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001343>
- Alexis, G., & Delbecq, N. (2022). *Évaluation des performances physiques de joueurs de football amateurs du championnat belge de D2 ACFF* [Mémoire de master, Université catholique de Louvain].
- Andrzejewski, M., Chmura, J., Pluta, B., & Kasprzak, A. (2012). Analysis of motor activities of professional soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 26(6), 1481–1488. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318231ab4c>
- Balyi, I. , Way, R. , & Higgs, C. (2013). Long-Term Athlete Development. Champaign, IL: Human Kinetics. Retrieved May 5, 2026, from <http://dx.doi.org/10.5040/9781492596318>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bradley, P. S., Archer, D. T., Hogg, B., Schuth, G., Bush, M., Carling, C., & Barnes, C. (2016). Tier-specific evolution of match performance characteristics in the English Premier League: it's getting tougher at the

top. *Journal of sports sciences*, 34(10), 980–987.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1082614>

Benediktsson, S., Johannsson, E., Rygh, C. B., & Gundersen, H. (2024).

Norwegian male U14 soccer players have superior running capacity compared to Icelandic players. *Frontiers in sports and active living*, 6, 1407842. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1407842>

Bortnik, L., Bruce-Low, S., Burger, J., Alexander, J., Harper, D., Morgans, R., Carling, C., McDaid, K., & Rhodes, D. (2024). Physical match demands across different playing positions during transitional play and high-pressure activities in elite soccer. *Biology of sport*, 41(2), 73–82.

<https://doi.org/10.5114/biol sport.2024.131815>

Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010).

Match running performance and fitness in youth soccer. *International journal of sports medicine*, 31(11), 818–825. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1262838>

Buchheit M. (2012). Repeated-sprint performance in team sport players:

associations with measures of aerobic fitness, metabolic control and locomotor function. *International journal of sports medicine*, 33(3), 230–239. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1291364>

Buchheit, M., Samozino, P., Glynn, J. A., Michael, B. S., Al Haddad, H., Mendez-

Villanueva, A., & Morin, J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of sports sciences*, 32(20), 1906–1913.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2014.965191>

Buchheit, M., Simpson, B. M., Hader, K., & Lacome, M. (2021). Occurrences of near-to-maximal speed-running bouts in elite soccer: insights for training prescription and injury mitigation. *Science and Medicine in Football*, 5(2),

105–110. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1802058>

Burgess, D. J., Naughton, G., & Norton, K. I. (2006). Profile of movement

demands of national football players in Australia. *Journal of science and*

medicine in sport, 9(4), 334–341.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.01.005>

Cazorla, G. (2016). *De l'analyse des exigences de la pratique du football de haut niveau à la formation du jeune footballeur*. Fédération Royale Marocaine de Football. <https://fr.scribd.com/document/549035894/Cazorla-foot-Formation-Jeune1>

Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(10), 1025–1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>

Delaval, B. (2024). *CSF 233 L1 VITESSE : TP Optimisation des qualité physiques chez les jeunes : VITESSE* [Support de formation]. ACFF – UEFA B Fitness.

Deprez, D., Valente-Dos-Santos, J., Coelho E Silva, M., Lenoir, M., Philippaerts, R. M., & Vaeyens, R. (2014). Modeling developmental changes in yo-yo intermittent recovery test level 1 in elite pubertal soccer players. *International journal of sports physiology and performance*, 9(6), 1006–1012. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0368>

Deprez, D., Buchheit, M., Fransen, J., Pion, J., Lenoir, M., Philippaerts, R. M., & Vaeyens, R. (2015). A longitudinal study investigating the stability of anthropometry and soccer-specific endurance in pubertal high-level youth soccer players. *Journal of sports science & medicine*, 14(2), 418–426. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25983593/>

Devillers, Y., Fricconet, L., & Losfeld, J.-L. (2025). *CSF 232 DLTA / LTPD : Développement à long terme du joueur* [Support de formation]. ACFF – UEFA B Fitness.

Di Mascio, M and Ade, J and Bradley, PS (2015) The reliability, validity and sensitivity of a novel soccer-specific reactive repeated-sprint test (RRST). *European Journal of Applied Physiology*, 115 (12). pp. 2531-2542. ISSN 1439-6327. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3247-0>

- Dios-Álvarez, V., Alkain, P., Castellano, J., & Rey, E. (2021). Accumulative Weekly External and Internal Load Relative to Match Load in Elite Male Youth Soccer Players. *Pediatric exercise science*, 34(3), 119–124. <https://doi.org/10.1123/pes.2021-0048>
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International journal of sports medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International journal of sports medicine*, 30(3), 205–212. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>
- Dugdale, J. H., Sanders, D., Myers, T., Williams, A. M., & Hunter, A. M. (2021). Progression from youth to professional soccer: A longitudinal study of successful and unsuccessful academy graduates. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 31 Suppl 1, 73–84. <https://doi.org/10.1111/sms.13701>
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of sports sciences*, 30(7), 625–631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Figueira, B., Gonçalves, B., Masiulis, N., & Sampaio, J. (2018). Exploring how playing football with different age groups affects tactical behaviour and physical performance. *Biology of Sport*, 35(2), 145-153. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2018.71603>
- Figueiredo, A. J., Gonçalves, C. E., Coelho E Silva, M. J., & Malina, R. M. (2009). Youth soccer players, 11-14 years: maturity, size, function, skill and goal orientation. *Annals of human biology*, 36(1), 60–73. <https://doi.org/10.1080/03014460802570584>
- García-Calvo, T., Lobo-Triviño, D., Raya-González, J., López Del Campo, R., Resta, R., Pons, E., & Ponce-Bordón, J. C. (2025). The Evolution of Match

Running Performance in the Top Two Spanish Soccer Leagues: A Comparative Four-Season Study. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 10(1), 27. <https://doi.org/10.3390/jfmk10010027>

Gomez-Piqueras, P., Gonzalez-Villora, S., Castellano, J., & Teoldo, I. (2019). Relation between the physical demands and success in professional soccer players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.14198/jhse.2019.141.01>

González-Villora, S., Pastor-Vicedo, J. C., & Cordente, D. (2015). Relative Age Effect in UEFA Championship Soccer Players. *Journal of human kinetics*, 47, 237–248. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0079>

Gualtieri, A., Rampinini, E., Dello Iacono, A., & Beato, M. (2023). 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, 1116293. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1116293>

Harper, D. J., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(12), 1923–1947. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>

Helsen, W. F., Baker, J., Michiels, S., Schorer, J., Van winckel, J., & Williams, A. M. (2012). The relative age effect in European professional soccer: Did ten years of research make any difference? *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1665–1671. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.721929>

Hennessy, L., & Jeffreys, I. (2018). The current use of GPS, its potential, and limitations in soccer. *Strength and Conditioning Journal*, 40(3), 83-94. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000386>

Kelly, A. L., & Williams, C. A. (2020). Physical characteristics and the talent identification and development processes in male youth soccer: A

narrative review. *Strength and Conditioning Journal*, 42(6), 15-34.

<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000576>

Kelly, A. L., Wilson, M. R., Gough, L. A., Knapman, H., Morgan, P., Cole, M., ... Williams, C. A. (2020). A longitudinal investigation into the relative age effect in an English professional football club: exploring the 'underdog hypothesis.' *Science and Medicine in Football*, 4(2), 111–118.

<https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1694169>

Konarski, J. M., Krzykała, M., Skrzypczak, M., Nowakowska, M., Coelho-E-Silva, M. J., Cumming, S. P., & Malina, R. M. (2021). Characteristics of select and non-select U15 male soccer players. *Biology of sport*, 38(4), 535–544. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.101126>

Kubayi A. (2021). Position-specific physical and technical demands during the 2019 COPA América Football tournament. *South African journal of sports medicine*, 33(1), v33i1a11955. <https://doi.org/10.17159/2078-516X/2021/v33i1a11955>

Le Gall, F., Carling, C., Williams, M., & Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *Journal of science and medicine in sport*, 13(1), 90–95.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.07.004>

Lockie, R. G., Murphy, A. J., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. (2011). Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 25(10), 2704–2714.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31820d9f17>

Malone, J. J., Lovell, R., Varley, M. C., & Coutts, A. J. (2017). Unpacking the Black Box: Applications and Considerations for Using GPS Devices in Sport. *International journal of sports physiology and performance*, 12(Suppl 2), S218–S226. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0236>

- Méndez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International journal of sports medicine*, 34(2), 101–110. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1306323>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Norton, K. (2025). Update on the evolution of World Cup soccer: men and women. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 25(4), 639–652. <https://doi.org/10.1080/24748668.2024.2436276>
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of sports sciences*, 24(3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>
- Pons, E., Ponce-Bordón, J. C., Díaz-García, J., López del Campo, R., Resta, R., Peirau, X., & García-Calvo, T. (2021). A Longitudinal Exploration of Match Running Performance during a Football Match in the Spanish La Liga: A Four-Season Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1133. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031133>
- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Krstrup, P., & Rebelo, A. (2020). Application of individualized speed zones to quantify external training load in professional soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 72, 279–289. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0100>
- Ravé, G., Granacher, U., Boullosa, D., Hackney, A. C., & Zouhal, H. (2020). How to Use Global Positioning Systems (GPS) Data to Monitor Training Load in the "Real World" of Elite Soccer. *Frontiers in physiology*, 11, 944. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00944>
- Rösch, D., Hodgson, R., Peterson, T. L., Graf-Baumann, T., Junge, A., Chomiak, J., & Dvorak, J. (2000). Assessment and evaluation of football

performance. *The American journal of sports medicine*, 28(5 Suppl), S29–S39. https://doi.org/10.1177/28.suppl_5.s-29

Saward, C., Morris, J. G., Nevill, M. E., Nevill, A. M., & Sunderland, C. (2016). Longitudinal development of match-running performance in elite male youth soccer players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(8), 933–942. <https://doi.org/10.1111/sms.12534>

Schimpchen, J., Skorski, S., Nopp, S., & Meyer, T. (2016). Are "classical" tests of repeated-sprint ability in football externally valid? A new approach to determine in-game sprinting behaviour in elite football players. *Journal of sports sciences*, 34(6), 519–526. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1112023>

Silva, H., Nakamura, F. Y., Loturco, I., Ribeiro, J., & Marcelino, R. (2024). Analyzing soccer match sprint distances: A comparison of GPS-based absolute and relative thresholds. *Biology of sport*, 41(3), 223–230. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2024.133663>

Towlson, C., Salter, J., Ade, J. D., Enright, K., Harper, L. D., Page, R. M., & Malone, J. J. (2021). Maturity-associated considerations for training load, injury risk, and physical performance in youth soccer: One size does not fit all. *Journal of sport and health science*, 10(4), 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.003>

Van de Castele, F., Deprez, D., Van Haaren, J., Derave, W., & Lievens, E. (2024). In professional football the decline in high-intensity running activities from first to second half is more pronounced in players with a fast muscle typology. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 34(1), e14508. <https://doi.org/10.1111/sms.14508>

Varley, M. C., Jaspers, A., Helsen, W. F., & Malone, J. J. (2017). Methodological Considerations When Quantifying High-Intensity Efforts in Team Sport Using Global Positioning System Technology. *International journal of sports physiology and performance*, 12(8), 1059–1068. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0534>

Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., & Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 304–310. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248320>

Young, A. L., Marinescu, R. V., Oxtoby, N. P., Bocchetta, M., Yong, K., Firth, N. C., Cash, D. M., Thomas, D. L., Dick, K. M., Cardoso, J., van Swieten, J., Borroni, B., Galimberti, D., Masellis, M., Tartaglia, M. C., Rowe, J. B., Graff, C., Tagliavini, F., Frisoni, G. B., Laforce, R., Jr, ... Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) (2018). Uncovering the heterogeneity and temporal complexity of neurodegenerative diseases with Subtype and Stage Inference. *Nature communications*, 9(1), 4273. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05892-0>

Wallace, J. L., & Norton, K. I. (2014). Evolution of World Cup soccer final games 1966-2010: game structure, speed and play patterns. *Journal of science and medicine in sport*, 17(2), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.016>

9. ANNEXES

ANNEXE 1

Procédure de prise des mesures anthropométriques (Test de Mirwald).

Lors des prises de mesures, les joueurs étaient pieds nus et portaient une tenue légère.

Les mesures ont été effectuées dans les infrastructures des clubs avant une séance d'entraînement.

Les variables suivantes ont été relevées pour chaque joueur :

- L'âge du joueur au jour du test ;
- Le poids corporel ;
- La taille debout ;
- La taille assise ;
- La longueur des membres inférieurs.

Le poids a été mesuré à l'aide d'une balance électronique. La taille debout a été mesurée à l'aide d'un stadiomètre, le joueur étant placé debout, dos droit et regard horizontal. La taille assise a été mesurée en position assise sur une surface plane, le dos droit contre le stadiomètre. La longueur des membres inférieurs a été obtenue par différence entre la taille debout et la taille assise.

ANNEXE 2

CONVENTION DE PARTAGE ET D'UTILISATION DE DONNÉES PSEUDONYMISÉES

Entre Thomas Heylen et William Berger et *Le club partenaire*

Parties

Entre :

Les personnes physiques Thomas Heylen et William Berger

responsables de la collecte initiale des données dans le cadre de leur mémoire universitaire,
et

Le club partenaire,

représenté dans le cadre du présent projet par **Monsieur/Madame X**,

Fonction dans le club partenaire,

Il est convenu ce qui suit :

Objet de la convention

La présente convention a pour objet de définir les modalités de mise à disposition, d'accès, d'utilisation et de protection de données pseudonymisées collectées dans le cadre du mémoire universitaire :

Profil et comparaison à travers le score de Mirwald, le niveaux de jeu, et les différents postes, des performances physiques lors de match d'une jeune footballeur U15

Cette convention autorise Mr Heylen Thomas à exploiter les données rétrospectives pseudonymisées à des fins de recherche scientifique, dans le respect du cadre légal en vigueur, notamment le RGPD.

Contexte

Durant la saison 2025-2026, Mr Heylen et Mr Berger réaliseront leur mémoire universitaire au sein de l'Université catholique de Louvain-La-Neuve.

Dans ce cadre, les joueurs U15 *du club partenaire*, ont participé à plusieurs matchs au sein de leur championnat en portant un GPS.

Les données issues de cette campagne constituent une base rétrospective permettant d'étudier :

- les compétences physiques et motrices réelles lors de match,
- les relations entre les différents profils,

L'utilisation scientifique de ces données a été rendue possible par une autorisation parentale préalablement recueillie par *le club partenaire*.

Nature des données concernées

Les données mises à disposition sont exclusivement des données **pseudonymisées**, sans possibilité d'identification directe des joueurs.

Elles concernent notamment :

- les résultats récoltés par les GPS lors des matchs
 - Distance totale
 - Vitesse maximale
 - Nombre d'accélération

- Nombre de décélérations
- Nombre de sprints
- Distance high speed running
- Temps de jeu
- Leur âge, leur date de naissance, leur score au test de Mirwald.
- les informations déclaratives liées à la pratique sportive.

Aucune donnée nominative, nom de joueur, ou élément directement identifiable ne sera transmis au sein du mémoire.

Finalités de l'utilisation des données

Les données seront utilisées exclusivement à des fins scientifiques , notamment pour:

- réaliser des analyses statistiques;
- étudier les relations entre les différents paramètres récoltés et les différents poste de jeux ;
- comparer la différence entre les niveaux de jeu (élite 1/ élite 2);
- Étudier la relation entre les différents paramètres récoltés et les scores au test de Mirwald.

Aucune utilisation commerciale ne sera réalisée.

Conditions d'accès et d'utilisation

Monsieur Berger et Heylen sont autorisés à :

- accéder aux données pseudonymisées transmises par le club ;
- les analyser dans le cadre de projets de recherche ;
- produire des résultats agrégés et anonymes.

Il est strictement interdit :

- de tenter d'identifier les participants.

Responsabilités respectives

Le club partenaire s'engage à :

- garantir que la collecte initiale a été réalisée dans un cadre légal, avec information et autorisation parentale.

Monsieur Heylen et Berger s'engagent à :

- utiliser les données uniquement dans le cadre défini par la présente convention ;
- garantir la confidentialité et la sécurité des données ;

- respecter les obligations RGPD et éthiques applicables à la recherche scientifique.

Sécurité, pseudonymisation et confidentialité

Les données seront :

- stockées sur des supports sécurisés ;
- accessibles uniquement aux personnes impliquées dans les projets de recherche ;

Aucune diffusion de données individuelles ne sera autorisée.

Durée de conservation

Les données pourront être conservées par Mr Heylen et Mr Berger pour la durée nécessaire à la réalisation des analyses scientifiques, des projets de recherche associés.

À l'issue de cette période :

- soit les données seront supprimées,
- soit archivées sous forme sécurisée, conformément aux obligations institutionnelles et scientifiques.

Durée de la convention

La présente convention entre en vigueur à la date de signature et couvre l'utilisation des données rétrospectives issues de la campagne 2026 pour toute la durée des projets scientifiques associés.

Fait en deux exemplaires originaux.

Pour *le club partenaire*

Nom : *X*

Fonction : *X*

Date : Janvier 2026

Signature :

Mr Heylen et Mr Berger

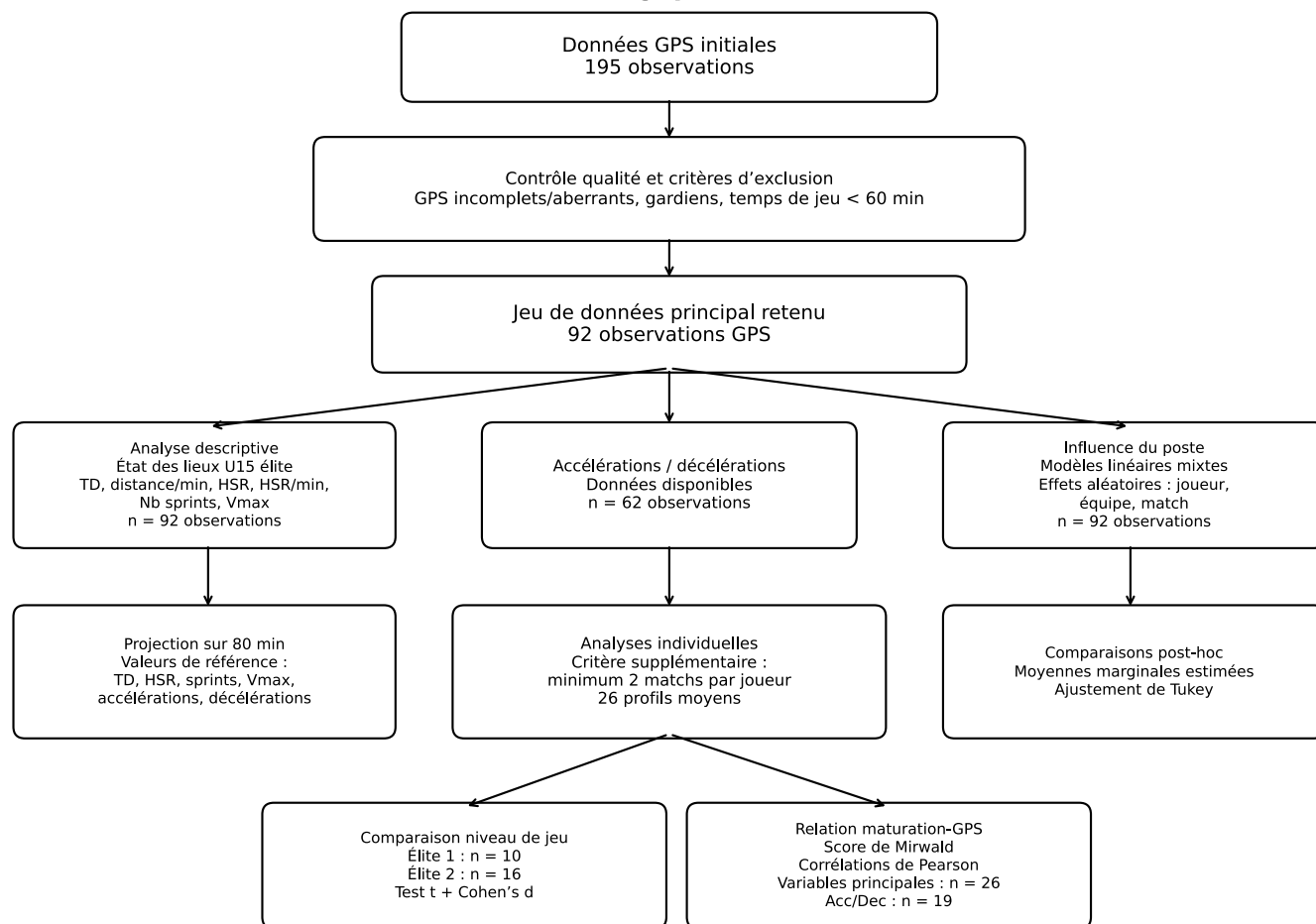
Fonction : Mémorants

Date : Janvier 2026

Signature

ANNEXE 3

Flowchart méthodologique - mémoire U15 GPS



Résumé :

Contexte théorique : Le football moderne impose des exigences physiques croissantes, notamment en termes de courses à haute intensité et d'actions explosives. Pourtant, peu de données scientifiques existent concernant les exigences de course des joueurs U15 en Belgique.

Objectifs : Ce mémoire poursuit un triple objectif : 1) Décrire les valeurs de charge externe observée lors d'un match de football chez les joueurs U15 Élite belges ; 2) comparer les performances de course entre l'Élite 1 et l'Élite 2 ; 3) analyser l'influence du statut maturationnel et du poste de jeu sur les variables GPS.

Méthodes : Les données GPS de 4 équipes U15 belges ont été collectées lors de matchs officiels à l'aide de systèmes GPS 10 Hz. Après exclusion des données non conformes, 92 observations et 26 profils joueurs ont été retenus. Les variables étudiées comprenaient la distance totale, le HSR, le nombre de sprints, les accélérations, les décélérations et la vitesse maximale. La maturation biologique a été évaluée via le test de Mirwald.

Résultats : Les joueurs parcourent en moyenne 8 717 m par match, dont 424 m à haute intensité, avec un score moyen de Mirwald de 0,65. Les joueurs d'Élite 1 présentent des valeurs supérieures à ceux d'Élite 2. Des différences apparaissent également selon le poste de jeu et le statut maturationnel.

Conclusion : Cette étude fournit des valeurs de référence inédites sur les exigences physiques des joueurs U15 en Belgique et souligne l'importance d'individualiser le suivi physique des jeunes joueurs.