

THÈSE DE DOCTORAT DE L'ÉTABLISSEMENT UNIVERSITÉ MARIE ET LOUIS PASTEUR

PRÉPARÉE À UFR STAPS – Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

École Doctorale n°554

École Doctorale Environnements - Santé

Par

Mme Bastiere Julie

Influence des réflexes primitifs sur les blessures, les performances athlétiques et technico-tactiques des footballeurs.

Thèse présentée et soutenue à Besançon, le 7 février 2025

Composition du Jury :

Mme. Tourny, Claire	Professeur, Université de Rouen, France	Rapporteur
M. Zouhal, Hassane	Professeur, Université de Renne 2, France	Président du jury et rapporteur
M. Coratella, Giuseppe	Professeur assistant, Université de Milan, Italie	Examineur
M. Mourot, Laurent	Professeur, Université de Franche-Comté, France	Directeur de thèse
M. Lussiana, Thibault	Responsable R&D, Volodalen	Codirecteur de thèse
M. Héros, Stéphane	Coordinateur de la cellule de recherche, Clermont Foot 63	Invité

Titre : Influence des réflexes primitifs sur les blessures, les performances athlétiques et technico-tactiques des footballeurs.

Résumé : Les réflexes primitifs (RPs) sont des réponses automatiques intégrées durant la petite enfance par le système nerveux central. Cette thèse explore l'impact des RPs sur les compétences technico-tactiques et les blessures chez les footballeurs au sein d'un centre de formation. Six études ont été menées sur trois saisons dans une académie de football pour évaluer l'activité de quatre RPs et leurs effets sur les capacités athlétiques, technico-tactiques, ainsi que sur l'incidence des blessures. Les résultats montrent que plus des deux tiers des joueurs présentent une activité persistante de ces réflexes, avec une incidence plus marquée chez les joueurs surclassés. Bien que les RPs n'aient pas d'impact direct sur l'incidence ou la gravité des blessures, les résultats indiquent qu'une activité plus élevée des RPs est associée à un temps de réhabilitation prolongé avant la reprise des entraînements (+9,7 jours). Par ailleurs, l'activité des RPs n'affecte pas significativement les performances athlétiques lors des tests, mais elle est corrélée à une diminution des compétences technico-tactiques (ex. réussite diminuée de 31,8% pour les passes en zone de finition et de 26,0% pour les duels aériens). Nos travaux soulignent l'importance d'intégrer les aspects neurodéveloppementaux dans l'évaluation des footballeurs afin d'optimiser leurs performances globales. Elle ouvre également la voie à de nouvelles approches d'entraînement ciblant l'intégration des RPs pour améliorer non seulement les performances sportives, mais aussi favoriser la prévention des blessures et le retour au sport après blessure.

Mots clés : Développement moteur, Performance, Blessure, Réhabilitation.

Title: Influence of primitive reflexes on injuries, athletic and technical-tactical performance of football players.

Abstract: Primitive reflexes (PRs) are automatic responses integrated during early childhood by the central nervous system. This dissertation explores the impact of PRs on technical-tactical skills and injuries among football players in a training academy. Six studies were conducted over three seasons in a football academy to evaluate the activity of four PRs and their effects on athletic abilities, technical-tactical skills, and injury incidence. Results show that over two-thirds of players exhibit persistent reflex activity, with a higher prevalence in players competing above their age category. While PRs do not have a direct impact on injury incidence or severity, higher PR activity is associated with prolonged rehabilitation time before returning to training (+9.7 days). Furthermore, PR activity does not significantly affect athletic performance in tests but correlates with reduced technical-tactical skills (e.g., a 31.8% decrease in passing accuracy in the final third and a 26.0% reduction in aerial duel success). This work highlights the importance of integrating neurodevelopmental aspects into football player assessments to optimize overall performance. It also paves the way for new training approaches targeting PR integration to enhance not only sports performance but also injury prevention and return-to-sport outcomes.

Keywords: Motor development, Performance, Injury, Rehabilitation.

Remerciements

Les remerciements sont, pour moi, l'un des moments les plus précieux de l'écriture de ce manuscrit de thèse. Ils m'ont permis de revisiter cette aventure, à la fois professionnelle et personnelle. Aujourd'hui, je peux poser sur papier toute la gratitude et la fierté que je ressens envers ceux avec qui j'ai partagé cette expérience, et envers ceux qui m'ont toujours soutenu.

Laurent et Thibault, je tiens à vous exprimer ma profonde reconnaissance pour l'immense privilège d'avoir été encadré par vous tout au long de cette thèse. J'ai pleinement conscience de la chance que j'ai eue de bénéficier de vos compétences, de votre bienveillance et de votre passion. Vous m'avez guidé avec rigueur, tout en me laissant l'espace nécessaire pour développer mes idées, mes réflexions et mes compétences. Grâce à vos orientations et vos précieux conseils, ce parcours, parfois semé d'embûches, a toujours été éclairé par votre présence rassurante et stimulante. Vos encouragements dans les moments de doute, tout comme vos exigences, m'ont permis de me surpasser et de mener ce projet à terme avec confiance et détermination. Merci encore, Laurent et Thibault, pour cet accompagnement exceptionnel. Cette thèse est autant le fruit de vos efforts que des miens.

À l'équipe Volodalen, avec un clin d'œil à Cyrille pour son appui et sa confiance, et surtout à Aurélien, qui a bravé mes questions et m'a guidé avec talent (et patience) dans le sombre monde des statistiques. Merci d'avoir rendu les chiffres un peu moins effrayants.

À mes collègues Benjamin, Yohan, François, Paul, Gharib, David, Alexis, Julie et Jean, je tiens à vous adresser mes remerciements les plus sincères pour avoir été des compagnons de route exemplaires. Dès le début, vous m'avez accueilli avec une camaraderie qui a rendu cette expérience infiniment plus agréable et enrichissante que je ne l'aurais imaginé. Travailler à vos côtés a été un privilège. Chacun de vous m'a apporté un savoir unique et des compétences précieuses, et c'est en grande partie grâce à nos échanges que j'ai pu progresser bien au-delà de ce que j'aurais pu accomplir seule.

Aux analystes vidéo et amis qui ont fourni un travail essentiel à ces recherches, je vous adresse mes sincères remerciements. Merci d'avoir pris de votre précieux temps pour contribuer à ce projet. Tim Prunier, Judicaël Vergnaud et Benjamin Vieux, Merci la Team Rocket.

À ce trio incroyable, Stéphane et Steve, merci à vous deux pour ces saisons inoubliables. Sans votre soutien et votre amitié, cette aventure aurait été impensable. Je pourrais écrire des pages sur vos qualités en tant qu'entraîneurs, mais je préfère souligner ici les personnes formidables. Vous avez été des soutiens constants dans les moments difficiles et de doute, et vous m'avez également offert des moments

mémorables. Un clin d'œil à Stéphane pour tous les footings sur les mêmes boucles. Pour tout cela, merci infiniment.

A tous les membres de l'ESTAC et spécialement à tous les joueurs de l'ESTAC que j'ai eu le privilège de rencontrer, de côtoyer et d'entraîner, merci. En particulier aux générations 2005, 2006 et 2007, avec qui j'ai débuté et achevé cette aventure. Vous m'avez apporté bien plus que du football : vous m'avez enseigné la patience, l'empathie et le courage d'oser rêver grand, même face aux statistiques. Si tous ne feront pas carrière dans le football, je sais que vous deviendrez tous des hommes incroyables. Merci pour votre bienveillance et votre implication, et bonne route à vous, les moches.

À mes amies Marion, Mathilde A, Mathilde B, Virginie, Ségolène, Anne-Lys, Aurélie et Camille je prends particulièrement le temps de choisir les mots justes pour vous dire à quel point je suis reconnaissante de vous avoir dans ma vie. Comme le disait Simone de Beauvoir : « Quoi qu'il arrive, tu auras toujours tes amies. Elles sont ton repère, ton refuge, celles qui t'aiment pour ce que tu es (...) ». Vous avez été un soutien inestimable tout au long de cette étape. Aux messages vocaux de 4 minutes et aux appels de 2 heures : merci. Vous avez su être présentes, dans les moments de doute comme dans les moments de réussite, en me soutenant et en m'offrant le réconfort dont j'avais besoin. Vous avez été des piliers tout au long de ce chemin, et je vous en suis infiniment reconnaissante.

À ma famille, je tiens à exprimer toute ma gratitude pour votre soutien indéfectible tout au long de ce parcours. Bien que ce projet ait souvent semblé mystérieux et lointain pour vous, votre présence constante, vos encouragements et votre patience ont été essentiels à chaque étape.

À vous tous, je réalise pleinement aujourd'hui combien votre soutien a été essentiel, et pour cela, je vous en remercie du fond du cœur. Peu importe le chemin que je prendrai désormais, je sais que vous serez toujours là, à mes côtés.

Claire Tourny et Hassane Zouhal, un grand merci pour avoir accepté d'expertiser ce travail.

Merci Guiseppe de me faire l'honneur de participer à ce jury de thèse en qualité d'examineur et également à Stéphane en qualité d'invité.

Merci infiniment.

Table des matières

<u>PREAMBULE.....</u>	<u>13</u>
<u>INTRODUCTION GENERALE.....</u>	<u>15</u>
<u>1 CONTEXTE ET ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE.....</u>	<u>15</u>
<u>2 LES COMPETENCES NECESSAIRES A LA PRATIQUE DU FOOTBALL DE HAUT NIVEAU</u>	<u>16</u>
<u>3 LES BLESSURES</u>	<u>19</u>
<u>4 BASES THEORIQUES DES REFLEXES PRIMITIFS ETUDIES : UNE ANALYSE DETAILLEE.....</u>	<u>23</u>
4.1 HISTOIRE, DEFINITION ET ROLE	23
4.2 ÉTAPES MOTRICES : JALON DU DEVELOPPEMENT MOTEUR.	25
4.3 IDENTIFICATION ET FONCTION DANS LE DEVELOPPEMENT MOTEUR.....	27
4.3.1 REFLEXE TONIQUE ASYMETRIQUE DU COU (RTAC).....	29
4.3.2 REFLEXE TONIQUE SYMETRIQUE DU COU (RTSC).....	30
4.3.3 REFLEXE DE MORO (RM).....	30
4.3.4 REFLEXE TONIQUE LABYRINTHIQUE (RTL)	31
4.4 INTEGRATION DES REFLEXES PRIMITIFS PAR LE SYSTEME NERVEUX CENTRALE	32
4.5 CONSEQUENCES DE L'ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS	34
4.5.1 CONSEQUENCES DES REFLEXES PRIMITIFS ACTIFS SUR LE MOUVEMENT	34
4.5.2 APPRENTISSAGE ET COMPETENCES ACADEMIQUES.	36
4.6 SYNTHESE DE LA REVUE DE LA LITTERATURE SUR LES REFLEXES PRIMITIFS	36
<u>5 IMPACT POTENTIEL DES REFLEXES PRIMITIFS ACTIFS DANS LA PRATIQUE DU FOOTBALL</u>	<u>39</u>
5.1 ÉTAT ACTUEL DE LA RECHERCHE SUR LES REFLEXES PRIMITIFS DANS LE DOMAINE SPORTIF	39

5.2	JUSTIFICATION DE L'INTERET POUR L'ETUDE DES REFLEXES PRIMITIFS DANS LE FOOTBALL.	39
6	<u>PROBLEMATIQUES ET HYPOTHESES DE TRAVAIL</u>	42
6.1	PHASE PRELIMINAIRE	42
6.2	PHASE D'OBSERVATION	43
	<u>METHODOLOGIE GENERALE</u>	45
1	<u>POPULATION GENERALE ET TRAITEMENT STATISTIQUE</u>	45
1.1	POPULATION	45
1.2	TRAITEMENT STATISTIQUE	45
2	<u>PHASE PRELIMINAIRE</u>	46
2.1	ÉVALUATION DES REFLEXES PRIMITIFS	46
2.2	PROTOCOLE D'ÉVALUATION	47
2.2.1	LE REFLEXE TONIQUE ASYMETRIQUE DU COU (RTAC)	47
2.2.2	LE REFLEXE TONIQUE SYMETRIQUE DU COU (RTSC)	48
2.2.3	REFLEXE DE MORO	49
2.2.4	REFLEXE TONIQUE LABYRINTHIQUE	49
2.2.5	CLASSIFICATION DE L'ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS	50
2.3	ÉVALUATION DES MOUVEMENTS INVOLONTAIRES ET TACHES MOTRICES SIMPLES	51
2.3.1	CHOIX DES TESTS ET DES CRITERES D'OBSERVATION	51
2.3.2	CRITERE D'OBSERVATION DES SAUTS	51
2.3.3	CRITERE D'OBSERVATION DE LA COURSE	52
3	<u>PHASE D'OBSERVATION</u>	52
3.1	SANTE DES JOUEURS	52
3.1.1	LES BLESSURES	52
3.1.2	LES DUREES DE REHABILITATION	52

3.1.3	LES ALERTES MEDICALES ET ATHLETIQUES	53
3.2	PROTOCOLES DES TESTS ATHLETIQUES UTILISES.....	53
3.2.1	LES TESTS D'ENDURANCE	53
3.2.2	LES TESTS DE SAUT : CONTRE MOUVEMENT JUMP ET DROP JUMP.	53
3.2.3	TEST D'ASYMETRIE DE LA FORCE DES ISCHIOJAMBIERS ET DES ADDUCTEURS/ABDUCTEURS.....	54
3.2.4	LES TESTS DE VITESSE	54
3.3	PROTOCOLES DES MESURES DES COMPETENCES TECHNICO-TACTIQUES	54
	<u>RESULTATS PHASE PRELIMINAIRE</u>	<u>56</u>
1	<u>NIVEAU D'ACTIVITE ET PREVALENCE DES REFLEXES PRIMITIFS</u>	<u>56</u>
1.1	OBJECTIFS ET PROCEDURES	56
1.2	RESULTATS	57
1.2.1	DISTRIBUTION DES SCORE GLOBALES	57
1.2.2	DISTRIBUTION DES NIVEAUX D'ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS	57
1.2.3	SCORES GLOBAUX : POSITION DU JOUEUR ET AGE DE NAISSANCE	58
1.2.4	SCORES GLOBAUX ET SURCLASSEMENT DES JOUEURS	59
1.3	POINTS CLES	60
2	<u>VALIDATION INTRA-INTER EVALUATEUR DE L'ECHELLE SUBJECTIVE DE L'INPP</u>	<u>61</u>
2.1	OBJECTIFS ET PROCEDURES	61
2.2	RESULTATS	61
2.2.1	RESULTAT INTRA-OBSERVATEUR	61
2.2.2	RESULTAT INTER-OBSERVATEUR	62
2.2.3	ANALYSE INTER EVALUATEUR ENTRE NOVICE ET EXPERT	64
2.3	POINTS CLES	65
3	<u>REFLEXES PRIMITIFS ET MOUVEMENTS INVOLONTAIRES.....</u>	<u>65</u>
3.1	OBJECTIFS ET PROCEDURES	65

3.2	RESULTATS	66
3.3	CRITERES D'OBSERVATION ET ACTIVITE GLOBALE DES REFLEXES PRIMITIFS.....	66
3.3.1	CRITERES D'OBSERVATION ET ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS.....	68
3.3.1.1	Réflexe tonique asymétrique du cou	68
3.3.1.2	Réflexe tonique symétrique du cou.....	68
3.3.1.3	Réflexe de Moro	68
3.3.1.4	Réflexe tonique labyrinthique.....	68
3.4	POINTS CLES	69
 <u>RESULTATS PHASE D'OBSERVATION</u>		<u>70</u>
 <u>1 REFLEXES PRIMITIFS, INCIDENCE DE BLESSURE ET ALERTE</u>		<u>70</u>
1.1	OBJECTIFS ET PROCEDURES	70
1.2	RESULTATS	70
1.2.1	ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS ET LE NOMBRE DE BLESSURES.....	70
1.2.2	L'ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS ET LES CATEGORIES DE BLESSURES.....	71
1.2.3	L'ACTIVITE GLOBALE DES REFLEXES PRIMITIFS ET LES JOURS D'INDISPONIBILITE PAR ETAPE DE REHABILITATION.....	75
1.2.4	L'ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS ET LES JOURS D'INDISPONIBILITE PAR ETAPE DE REHABILITATION	76
1.2.5	LES ALERTES.....	79
1.3	POINTS CLES	79
 <u>2 REFLEXES PRIMITIFS ET INCIDENCE SUR LES TESTS ATHLETIQUES</u>		<u>80</u>
2.1	OBJECTIFS ET PROCEDURES	80
2.2	RESULTATS	80
2.2.1	TESTS ATHLETIQUES ET ACTIVITE GLOBALE	80
2.2.1.1	Tests de Endurance – Vitesse	80
2.2.1.2	Tests de saut : CMJ et DJ	81
2.2.1.3	Asymétrie test force : Ischiojambiers, adducteurs et abducteurs.....	81
2.2.2	TESTS ATHLETIQUES ET ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS.....	82
2.2.2.1	Réflexe tonique asymétrique du cou	82

2.2.2.2	Réflexe tonique symétrique du cou.....	82
2.2.2.3	Réflexe de Moro	83
2.2.2.4	Réflexe tonique labyrinthique.....	83
2.3	POINTS CLES	83

3 REFLEXES PRIMITIFS ET INCIDENCE SUR LES COMPETENCES

TECHNICO-TACTIQUES84

3.1 OBJECTIFS ET PROCEDURES84

3.2 RESULTATS84

3.2.1 PRESENTATION DES RESULTATS: TAUX DE REUSSITE DES COMPETENCES ET ACTIVITES GLOBALES DES REFLEXES PRIMITIFS..... 84

3.2.1.1 Taux de réussite des compétences tactiques..... 85

3.2.1.2 Taux de réussite des compétences techniques 87

3.2.2 PRESENTATION DES RESULTATS : TAUX DE REUSSITE ET ACTIVITE DES REFLEXES PRIMITIFS. 89

3.2.2.1 Taux de réussite des compétences tactique 89

3.2.2.2 Taux de réussite des compétences techniques 90

3.3 POINTS CLES90

DISCUSSION GENERALE92

RESUME DES CONNAISSANCES ET IMPLICATIONS PRATIQUES97

PERSPECTIVES.....99

1 APPROFONDISSEMENT DES CONNAISSANCES SUR L'IMPACT DES RPS

SUR LES SPORTIFS99

1.1 LES REFLEXES PRIMITIFS ACTIFS ET LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION SENSORIMOTRICE.....99

1.2 LES REFLEXES PRIMITIFS ACTIFS ET LES COMPETENCES COGNITIVES99

1.3 LES REFLEXES PRIMITIFS ACTIFS ET LA SANTE MENTALE 100

<u>2 ANALYSE DE L'INTEGRATION DES REFLEXES PRIMITIFS DANS LES PROGRAMMES D'ENTRAINEMENT</u>	<u>100</u>
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	<u>101</u>
<u>REFERENCES.....</u>	<u>103</u>
<u>LISTES DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS</u>	<u>114</u>
<u>LISTE DES FIGURES</u>	<u>115</u>
<u>LISTE DES TABLEAUX.....</u>	<u>117</u>
<u>ANNEXES</u>	<u>119</u>
<u>PUBLICATIONS.....</u>	<u>134</u>
<u>ÉTUDE N°1 : PERSISTENCE AND ACTIVITY LEVELS OF PRIMITIVE REFLEXES IN YOUNG HIGH-LEVEL FOOTBALL PLAYERS.....</u>	<u>134</u>
<u>ÉTUDE N°2 : ACTIVE PRIMITIVE REFLEXES OBSTRUCT TACTICAL AND TECHNICAL SKILLS IN FOOTBALL PLAYERS.....</u>	<u>143</u>

"Le football, c'est un jeu d'espace et de temps. La difficulté, c'est de faire le bon choix dans un espace réduit et en un temps très court."

Pep Guardiola

Liste des abréviations

CMJ = Contre Mouvement Jump

CTa = Compétence Tactique

CTe = Compétence Technique

DJ = Drop Jump

GPS = Global Positioning System

INPP = Institute of NeuroPhysiology and Psychology

PR(s) = Réflexe Primitif(s)

RM = Réflexe de Moro

RSI = Reactive Strength Index

RTAC = Réflexe Tonique Asymétrique du Cou

RTL = Réflexe Tonique Labyrinthique

RTSC = Réflexe Tonique Symétrique du Cou

SG = Score Global

TDA = Trouble Déficitaire de l'Attention

TDAH = Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité

VMA = Vitesse Maximale Aérobie

ZA = Zone d'Attraction

ZD = Zone de Déséquilibre

ZF = Zone de Finition

Préambule

Le football, sport collectif d'une complexité remarquable, a vu ses exigences évoluer considérablement au cours des dernières décennies. Dans le football moderne, la vitesse de jeu s'est intensifiée, nécessitant des réactions rapides et une prise de décision éclairée. Les joueurs doivent être capables de traiter une quantité importante d'informations en temps réel pour anticiper les mouvements de leurs coéquipiers et adversaires et ajuster leur positionnement selon les dynamiques du jeu. L'importance croissante de l'intelligence tactique a ainsi transformé la manière dont les équipes s'entraînent et se préparent aux compétitions, obligeant les joueurs à maîtriser un éventail de compétences cognitives et techniques complexes. Dans ce contexte, chaque détail pouvant influencer la performance même de manière subtile, devient essentiel à étudier.

Parmi ces détails, l'influence des mécanismes neurophysiologiques sous-jacents reste souvent sous-estimée, notamment celle des réflexes primitifs (RPs) actifs. Les RPs sont des réponses automatiques du système nerveux central qui jouent un rôle crucial dans le développement moteur et sensoriel des individus. Si l'activité des RPs est déjà reconnue chez les enfants en bonne santé comme un indicateur potentiel de retard neurodéveloppemental, leur activité chez les joueurs de football pourrait représenter un obstacle invisible à l'optimisation de leurs performances sportives. Par exemple, le réflexe tonique asymétrique du cou, qui influence la coordination œil-main, illustre l'importance de ces mécanismes dans la gestion motrice. Normalement, l'intégration de ces RPs par le système nerveux central permet un contrôle moteur avancé et stable. Cependant, leur persistance chez des joueurs de football pourrait perturber la coordination, la posture et la réactivité, qui sont des facteurs cruciaux pour la performance sur le terrain.

La persistance de l'activité des RPs chez les athlètes pourrait avoir des conséquences significatives sur leur performance sportive. Par exemple, un joueur de football présentant des RPs actifs pourrait éprouver des difficultés dans la fluidité et la coordination des mouvements, rendant plus complexe l'exécution de passes précises ou la réactivité en situation de jeu rapide. De tels RPs actifs pourraient également provoquer des mouvements parasites, réduisant la stabilité et augmentant la dépense énergétique pour compenser ces gestes involontaires. Ces "obstacles invisibles" pourraient potentiellement créer des défis supplémentaires pour les joueurs, affectant leur capacité à maintenir un niveau optimal de performance, notamment sous des conditions de stress ou de fatigue. Par ailleurs, cette activité des RPs pourrait expliquer certaines vulnérabilités aux blessures, car des mouvements involontaires ou une coordination altérée augmenteraient le risque de chutes ou de mauvais placements articulaires.

Ainsi, ce projet de thèse a été construit de façon à répondre aux différentes problématiques liées à l'activité des RPs en s'appuyant sur des analyses comparatives des données collectées au cours de trois

années de recherche auprès de joueurs âgés de 15 à 23 ans évoluant dans un centre de formation de football.

Durant la phase préliminaire, nous avons cherché à déterminer le niveau d'activité des RPs et leur distribution au sein de notre population d'étude. Cette étape comprenait également l'évaluation de la répétabilité de l'échelle subjective utilisée pour l'évaluation des RPs, afin de garantir la fiabilité inter et intra-évaluateur, assurant ainsi la solidité des mesures sur la durée de l'étude. Par ailleurs, nous avons voulu vérifier si, en présence de RPs actifs, des mouvements involontaires similaires et repérables pouvaient être observés lors de tests de saut (contre mouvement jump et drop jump) et de course sur tapis, et si ces mouvements pouvaient être corrélés à l'activité des RPs.

Après avoir validé cette phase initiale, nous avons entamé la phase d'observation, visant à évaluer l'impact des RPs actifs sur différents aspects de la performance et de la santé des joueurs. Nous avons étudié leur influence sur les résultats des tests athlétiques et sur les compétences technico-tactiques en situation de match, ainsi que l'incidence et la durée d'indisponibilité des joueurs en cas de blessure. Enfin, nous avons analysé le niveau d'alertes médicales recensé sur une saison sportive, afin de mieux comprendre les liens entre l'activité des RPs et les enjeux de santé et de performance des athlètes.

Cette approche neurophysiologique, encore sous-estimée dans le sport de haut niveau, met en lumière la nécessité de repenser l'évaluation et la préparation des joueurs. Comprendre et intégrer l'influence des RPs actifs pourrait ouvrir de nouvelles perspectives pour optimiser les programmes d'entraînement, réduire le risque de blessure et améliorer la performance globale des athlètes.

Introduction générale

1 Contexte et environnement de recherche

Les centres de formation de football jouent un rôle essentiel dans la stratégie des clubs, tant sur le plan sportif que financier. Ils sont dédiés à l'identification, au recrutement, et au développement de jeunes talents, souvent dès l'âge de 12 ou 13 ans, jusqu'à leur intégration dans l'équipe professionnelle ou leur transfert vers d'autres clubs. Pour de nombreux clubs, ces centres de formation représentent un investissement stratégique crucial, garantissant pérennité et compétitivité à long terme. Les budgets alloués aux centres de formation varient selon la taille et les ambitions des clubs, les grands clubs européens y consacrant généralement entre 3 et 10 millions d'euros par an (UEFA). Ces fonds couvrent les salaires du personnel, les coûts des infrastructures, et les équipements nécessaires au développement technique et physique des jeunes joueurs.

L'intérêt principal réside dans la valorisation et la vente de jeunes talents potentiels, ce qui permettrait aux structures sportives de générer des bénéfices. Un exemple notable serait celui de l'Ajax Amsterdam qui, grâce à son centre de formation, a réalisé des transferts de joueurs formés en interne, aboutissant à des gains financiers conséquents en 2019. Le club a vendu Matthijs de Ligt et Frenkie de Jong pour un montant total dépassant 150 millions d'euros, soulignant ainsi l'importance économique cruciale de ces structures. De plus, les centres de formation contribueraient à réduire la dépendance aux recrutements externes, souvent onéreux, tout en renforçant la stabilité financière et sportive des clubs. L'Olympique Lyonnais est régulièrement salué pour l'impact de ses jeunes formés sur son effectif professionnel, ce qui favorise une forte cohésion et un lien solide avec ses supporters. Cette stratégie a non seulement consolidé l'identité du club, mais elle a également généré des revenus importants grâce aux transferts de joueurs issus de son centre de formation (Efficacité des centres de formation 2022-2023). Par exemple, Alexandre Lacazette, formé au club, a été transféré à Arsenal en 2017 pour environ 53 millions d'euros. De même, Nabil Fekir a quitté Lyon pour rejoindre le Real Betis en 2019, pour environ 20 millions d'euros. En France, environ 133 millions d'euros sont consacrés annuellement aux centres de formation des clubs de Ligue 1 et Ligue 2. Ces investissements se reflètent dans la qualité des structures et des programmes, contribuant non seulement à la compétitivité des clubs, mais aussi à la mise en valeur des talents locaux (Fédération Française de Football & Ligue de football professionnel). Cela renforce l'identité des clubs et leur permet de se démarquer en cultivant un style de jeu et une culture propres (Fédération Française de Football). En outre, 30 % des internationaux français proviennent de ces centres, illustrant leur impact sur la scène nationale et internationale. La demande croissante de performance dans le football de haut niveau impose donc une formation des joueurs la plus optimale possible. Les clubs investissent massivement dans leurs centres de formation pour répondre à ces

exigences, assurant non seulement leur compétitivité, mais aussi leur identité et leur viabilité économique sur le long terme.

2 Les compétences nécessaires à la pratique du football de haut niveau

Le football de haut niveau impose des exigences multidimensionnelles aux joueurs. Ces derniers doivent développer des compétences techniques (CTe), tactiques (CTa), physiques et mentales pour s'adapter à un environnement dynamique et imprévisible. Ces capacités sont essentielles pour répondre aux contraintes élevées du jeu et prendre des décisions efficaces en temps réel (Ali, 2011; Williams & Reilly, 2000). Les capacités physiques, telles que l'endurance, la vitesse et la force, sont particulièrement déterminantes dans la performance (tableau 1).

Tableau 1 : Données athlétiques moyennes

Capacités athlétiques	Valeurs moyennes	Références
Hauteur de saut CMJ	37,5–55,8 cm	Silva (2022)
VO2max	60–70 ml/kg/min	Mohr et al. (2003)
Distance totale parcourue	10–13 km/match	Mohr et al. (2003)
Distance à haute intensité	2,5 km (> 19,8 km/h)	Mohr et al. (2003)
Sprints	0,3–0,6 km (> 25 km/h)	Mohr et al. (2003)
Vitesse maximale	33,5 ± 1,5 km/h	Miñano-Espin et al. (2017)

Ces données mettent en évidence les caractéristiques physiques des joueurs professionnels, essentielles pour maintenir une intensité élevée et une résistance à la fatigue durant les matchs. A noter également l'évolution des performances en match témoigne d'une intensité croissante du football moderne. Par exemple, dans la Premier League anglaise, la distance parcourue en sprint (=course à plus de 24,9km/h) par les joueurs a augmenté de 35 % entre 2006 et 2013, passant de 800 m à plus de 1 080 m par match (Bush et al., 2015). Cela reflète une exigence accrue en termes de préparation physique et stratégique. Les CTa englobent les actions prises en réponse à des situations de jeu en constante évolution, telles que le placement stratégique, la lecture du jeu, et l'adaptation rapide aux changements dans les phases de jeu. Ces compétences sont vitales pour coordonner les mouvements de l'équipe, exploiter efficacement les espaces disponibles, et anticiper les actions des adversaires (Gréhaigne & Godbout, 1995; Low et al., 2020). Les CTe, quant à elles, se concentrent sur la maîtrise des gestes fondamentaux du football, notamment la passe, le dribble, le tir, et le contrôle du ballon (Bozkurt & Kucuk, 2018; Portillo et al., 2020). Ces compétences doivent être exécutées avec une grande précision et rapidité pour être efficaces dans des situations de match où le temps et l'espace sont souvent limités. Par exemple, les tests de dribble en un contre un ou les scénarios de tir sous pression sont fréquemment utilisés pour évaluer les CTe dans un contexte proche de celui du match (Caetano et al., 2019; Wilson et al., 2018).

L'étude de Sabarit et al. (2020) montre également que les capacités cognitives, telles que la mémoire de travail et la capacité de traitement de l'information, sont déterminantes pour l'efficacité des décisions tactiques. Un entraînement cognitif spécifique peut ainsi améliorer la prise de décision et la réactivité sur le terrain, éléments essentiels dans des situations de match imprévisibles. Ces capacités physiques et cognitives sont reconnues comme l'un des aspects fondamentaux de l'entraînement et de l'analyse de la performance au football (Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2003). La mesure des capacités athlétiques traditionnelles se focalise généralement sur des paramètres physiologiques et biomécaniques, souvent au détriment des facteurs neurologiques qui peuvent influencer significativement la performance motrice, notamment l'équilibre (Hrysomallis, 2011). En effet, la capacité d'équilibre joue un rôle essentiel dans l'efficacité des mouvements et la performance globale. Cette étude montre que les performances athlétiques dépendent non seulement des composantes physiques comme la force et l'endurance, mais aussi des aspects neuromusculaires et neurophysiologiques qui incluent entre autres, la coordination et la stabilité posturale, souvent négligés dans les évaluations conventionnelles (Hrysomallis, 2011). Par exemple, des tests réalisés sur des plateformes de force fournissent des informations détaillées sur les aspects mécaniques et cinétiques des mouvements, tels que la production de force, la distribution des charges et les asymétries de performance. Ces mesures sont essentielles pour optimiser la performance en permettant de détecter des déséquilibres potentiels et d'évaluer la puissance et la force dans des mouvements dynamiques comme la course et le saut (Douglas et al., 2016).

Une autre dimension cruciale de la performance en football : la gestion des blessures. Les études montrent que des déficits dans certaines compétences clés, telles que la force, l'endurance, la vitesse et l'agilité, peuvent non seulement compromettre la performance sur le terrain, mais aussi augmenter le risque de blessure (Gabbett, 2016). Ainsi cet aspect de la pratique du sport de haut niveau est aussi multifactoriel (tableau 2).

Tableau 2 Facteurs de risque et impacts sur les blessures chez les footballeurs professionnels

Facteurs de risque		Impact sur les blessures
Antécédents de blessures	Les blessures antérieures sont des prédicteurs significatifs de nouvelles blessures, en raison de faiblesses résiduelles ou de déséquilibres musculaires.	(McCall et al., 2015)
Déséquilibre entre charge de travail et récupération	Une charge de travail excessive sans récupération adéquate est associée à une incidence plus élevée de blessures.	(Delecroix, 2019)
Déséquilibres musculaires	Les asymétries dans la force ou la flexibilité musculaire augmentent le risque de blessures, notamment musculaires.	(Malinzak et al., 2001) (McCall et al., 2015)
Faiblesse musculaire	Augmentation des mouvements compensatoires, entraînant un risque accru de blessures.	(Mc Call, 2014)
Fatigue liée à la densité des matchs	Augmentation de 18 à 25 % du risque de blessure en raison de la surcharge physique et du temps de récupération insuffisant.	(Bengtsson et al., 2018a)
Insuffisance d'agilité ou d'endurance	Incapacité à exécuter des gestes en toute sécurité, augmentant le risque de blessures.	(Akenhead & Nassis, 2016a)
Manque de récupération	Un temps de récupération insuffisant entre les entraînements ou les matchs augmente le risque de blessures.	(Delecroix, 2019)
Mauvaise technique de jeu	Une technique inadéquate peut conduire à des mouvements inefficaces et dangereux, augmentant le risque de blessures.	(Mc Call, 2014)
Stress psychologique	Le stress peut entraîner une diminution de la vision périphérique et une augmentation de la tension musculaire, ce qui accroît le risque de blessures.	(Deroche et al., 2007)

De plus, un joueur professionnel doit être capable d'enchaîner des performances de très haut niveau tout au long de la saison, souvent dans des conditions où il peut être amené à jouer deux matchs par semaine. Cette densité des matches accrue considérablement la fatigue et, par conséquent, le risque de blessure augmentant de 18 à 25% (Bengtsson et al., 2018; Jiang et al., 2022).

3 Les blessures

Cet intérêt marqué pour les blessures dans le domaine scientifique avec de nombreuses recherches s'explique par les enjeux liés au football professionnel. En effet, il existe un effet important concernant le versant financier, lié au nombre de jours d'indisponibilité des joueurs blessés : en moyenne 37 jours d'absences sur 300 jours (Ekstrand et al., 2011b). À noter également que les blessures ont un impact direct et négatif sur les performances des équipes professionnelles de football. Selon Hägglund et al. (2013), une équipe perd en moyenne 15 à 20 % de ses matchs lorsque ses joueurs clés subissent des blessures prolongées. Au niveau national, ces absences peuvent coûter des points décisifs, compromettant les objectifs de classement. Sur la scène internationale, comme en Ligue des Champions, où la compétition est brève et les adversaires de très haut niveau, une blessure majeure en phase éliminatoire d'un joueur clé peut diminuer les chances de victoire de 40 % (Eirale et al., 2013). Les mécanismes impliqués incluent la diminution de la qualité du jeu collectif, l'augmentation de la charge de travail des joueurs restants et un impact psychologique sur l'équipe. Ainsi, ces éléments soulignent l'importance de stratégies de prévention des blessures pour maximiser les performances, particulièrement lors des compétitions internationales. À noter, les équipes avec un nombre de blessure réduite et une disponibilité des joueurs plus élevée (en moyenne 86 % des joueurs disponibles tout au long de la saison) ont obtenu de meilleurs classements finaux en championnat et un coefficient UEFA supérieur, reflétant leur succès dans des tournois tels que la Ligue des Champions ou la Ligue Europa (Hägglund et al., 2013).

Les études épidémiologiques sur les blessures dans le football, notamment celles issues des rapports de l'UEFA (2017), ont permis de caractériser avec précision la localisation et la gravité et l'incidence de ces blessures sur une saison complète. Ces données fournissent un aperçu essentiel des zones corporelles les plus affectées, de la fréquence des blessures en fonction des phases de jeu (entraînement ou match), ainsi que de leur impact sur la disponibilité des joueurs tout au long de la saison. L'analyse des blessures dans le football révèle des tendances claires qui mettent en lumière les zones les plus vulnérables et les types de blessures les plus fréquents. En ce qui concerne les types de blessures, les blessures moyennement graves (nécessitant de 8 à 28 jours d'absence) sont les plus courantes, représentant 43,1 % des cas. Les blessures légères (4 à 7 jours d'absence) constituent 27,4 % des blessures, tandis que les blessures graves (plus de 28 jours d'absence) représentent 9,8 % (tableau 3).

Tableau 3 Incidence et durée moyenne d'indisponibilité des blessures des membres inférieurs chez les footballeurs (Lemes et al., 2021; Pérez-Gómez et al., 2022)

Localisation	Incidence (%)	Durée moyenne d'indisponibilité (jours)
Ischiojambiers	37	14–28+
Genou	20	45–225 (7.5 mois pour le LCA)
Cheville	15	8–plusieurs semaines
Quadriceps	13	8
Adducteurs	23	54,2

Ces résultats montrent que, bien que les blessures graves soient moins fréquentes, leur impact prolongé sur la disponibilité des joueurs reste significatif (Bengtsson et al., 2018). Ils soulignent également l'importance de stratégies spécifiques visant à réduire les blessures récurrentes dans les zones vulnérables et à cibler les types de blessures les plus fréquents pour optimiser la réhabilitation et minimiser les jours d'absence. De plus, 12 à 33 % des joueurs subissent une récurrence dans l'année suivant la première blessure, ce qui complique davantage la gestion de ces blessures. Cette situation est aggravée par l'intensification des courses à haute intensité (Bush et al., 2015) et le nombre croissant de matchs, entraînant des périodes d'indisponibilité de 17 à 20 jours en cas de lésion des ischiojambiers (Delvaux et al., 2023). Sur l'ensemble d'une saison, une équipe de football professionnelle enregistre en moyenne 2 blessures par joueur (Waldén et al., 2016), et les récurrences représentent entre 14 et 22 % des blessures musculaires, selon le championnat (Ekstrand et al., 2011a). A noter que l'incidence de blessure varie en fonction du moment dans la saison (Ekstrand et al., 2017), avec un pic du nombre de blessure à l'entraînement durant l'hiver (figure 1).

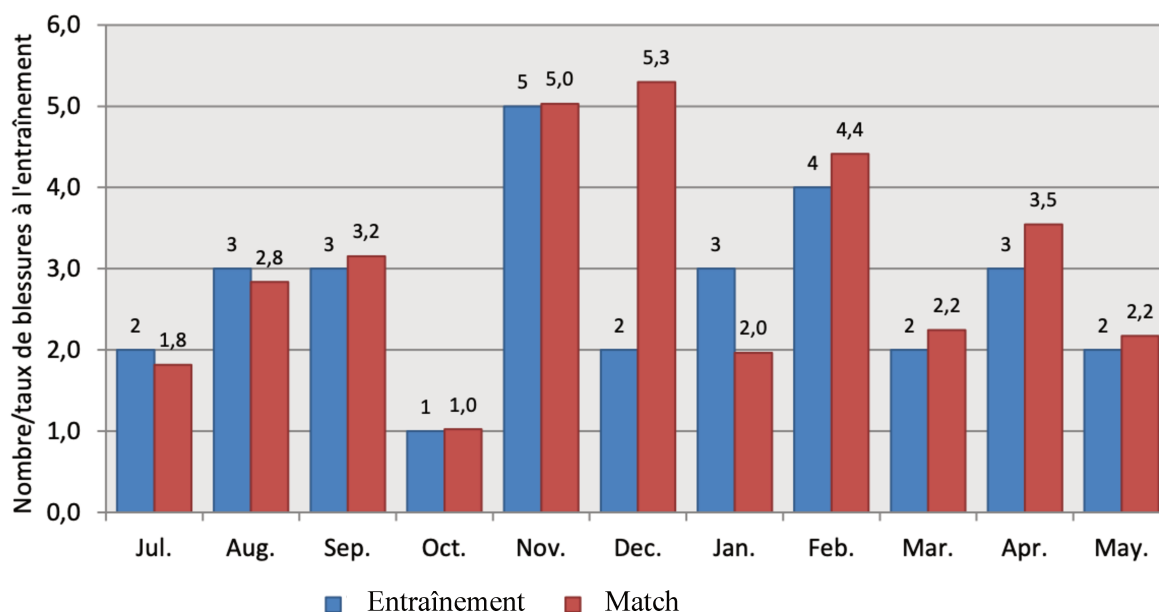


Figure 1 Répartition mensuelle des blessures survenues à l'entraînement (colonnes bleues) et taux de blessures à l'entraînement (colonnes rouges) au cours de la saison (rapport UEFA (2017)).

Dans le contexte d'un centre de formation, l'impact négatif majeur des blessures est la mise au ralenti du plan de formation des jeunes joueurs. En effet, les blessures ont un impact significatif sur la progression des joueurs au sein d'une académie de football d'élite (Larruskain et al., 2022). Les joueurs des catégories U19 et des équipes de réserve qui ont réussi à progresser vers le niveau supérieur présentaient généralement une charge de blessure plus faible et une disponibilité accrue pour les matchs par rapport à ceux qui n'ont pas atteint ce niveau (Larruskain et al., 2022). Dans cette étude, tous les joueurs ayant intégré l'équipe première affichaient un taux de disponibilité pour les matchs supérieur à 84 % et n'avaient pas subi de blessures graves, telles que des ruptures du ligament croisé antérieur ou des blessures nécessitant plus de 200 jours de récupération. Par ailleurs, les blessures graves, (ruptures du ligament croisé antérieur) et les blessures nécessitant des périodes prolongées de réhabilitation ont été corrélées à une diminution significative de la probabilité de poursuivre dans l'académie la saison suivante (Larruskain et al., 2022).

Pour approfondir la compréhension de l'impact des blessures sur la progression des joueurs, il est essentiel de prendre en compte non seulement la fréquence des blessures, mais aussi les facteurs qui y contribuent (tableau 2). Malgré la multiplication des moyens et des indicateurs de suivi d'entraînement dans l'activité football, plusieurs auteurs ont mis en évidence, à travers une revue systématique et une méta-analyse de 22 études couvrant une période allant de 2000 à janvier 2020, que le ratio des blessures (nombre de blessures par joueur ou équipe par saison) n'a pas diminué au fil des années (López-Valenciano et al., 2020). Cette stagnation met en lumière la nécessité de développer des stratégies de prévention plus efficaces. A noter

également, qu'une étude dans le cadre de la course à pied, a révélé que le principal facteur de risque de blessure chez un coureur était d'avoir subi une blessure au cours des 12 mois précédents (Saragiotto et al., 2014). Cette constatation met en lumière l'importance de comprendre et de cibler les facteurs qui favorisent l'apparition de la première blessure.

À ce jour, il n'existe pas de consensus universel concernant les meilleures pratiques de suivi et de gestion de la charge chez les athlètes, en grande partie en raison de la complexité inhérente à ce processus (Akenhead & Nassis, 2016; West et al., 2021). Le monitoring de la charge et du suivi des athlètes repose principalement sur plusieurs outils et méthodes (Brukner, 2015), notamment l'utilisation des systèmes GPS pour mesurer la distance totale parcourue, l'intensité des courses et des accélérations/décélération. L'évaluation de la perception de l'effort, et l'intégration de protocoles d'exercice sous-maximal combinés à la surveillance de la fréquence cardiaque sont aussi utilisées (Delecroix, 2019; Loturco et al., 2019). D'autres méthodes incluent les tests d'effort et le suivi du ratio de force, qui permettent d'évaluer plus précisément l'état de préparation et de récupération des joueurs de football (Delecroix, 2019; Loturco et al., 2019).

Ces dernières années, les tests de début de saison qui permettent le suivi longitudinal sur une ou plusieurs saisons, jouent un rôle crucial dans la surveillance de l'état de santé et des capacités physiques des joueurs (Layton et al., 2023). Ces tests consistent généralement en une série d'évaluations destinées à identifier les risques potentiels de blessures, à évaluer la condition physique générale, et à détecter des déséquilibres musculaires ou des faiblesses spécifiques (McCall et al., 2015). Par exemple, les tests isocinétiques sont fréquemment employés pour mesurer la force des quadriceps et des ischiojambiers (Suarez-Arrones et al., 2018). Malgré la popularité de ces tests de suivi, leur utilité en matière de prévention des blessures reste un sujet de débat. Bien que ces évaluations offrent des informations précieuses sur l'état physique et la condition des joueurs, leur fiabilité en tant qu'outils de prédiction est souvent remise en question (Gabbett, 2016). Ainsi, ces tests de suivi doivent faire d'une stratégie globale de gestion de la charge et de prévention des blessures, plutôt qu'être utilisés comme des outils de prédiction isolés (DeSilva et al., 2018; Schwellnus et al., 2016). Bien que l'optimisation des suivis des joueurs de football, comme la fatigue, la charge de travail (intensité, volume, etc.) et le stress aient permis de limiter certaines blessures et d'optimiser les performances (Bourdon et al., 2017; Newton et al., 2019), les causes sous-jacentes restent encore à explorer. L'amélioration de la prévention des blessures et de la performance demeure un axe d'amélioration et une priorité pour les structures professionnelles.

L'une des pistes sous-explorées est le contrôle moteur, qui constitue un pilier essentiel de la prévention des blessures, de la performance athlétique et des compétences technico-tactiques. Dans un sport aussi exigeant que le football, où chaque mouvement est soumis à des contraintes physiques et cognitives intenses, une coordination motrice optimale joue un rôle déterminant. Elle permet aux joueurs de maintenir leur équilibre dans des situations complexes (Hrysomallis, 2011), d'ajuster leur posture en réponse aux perturbations, et de garantir une exécution précise des gestes techniques. Cependant, des dysfonctionnements dans le contrôle

moteur peuvent augmenter le risque de blessures et limiter la capacité d'adaptation des joueurs aux exigences du jeu. Ces dysfonctionnements, souvent liés à des facteurs neurophysiologiques, sont encore peu explorés dans le cadre de la haute performance sportive. Parmi ces facteurs, l'activité résiduelle des réflexes primitifs (RPs) représente une piste intrigante mais largement sous-estimée. Si ces RPs, normalement intégrés au cours du développement, restent actifs chez certains joueurs, ils pourraient perturber la coordination motrice, réduire l'efficacité des mouvements et augmenter la vulnérabilité aux blessures. Ainsi, une meilleure compréhension du lien entre l'activité des RPs et le contrôle moteur pourrait offrir de nouvelles perspectives pour optimiser la performance et renforcer les stratégies de prévention des blessures dans le football. Une étude de Rasik (2019) a démontré que l'activité des RPs au-delà de l'âge de deux ans est associée à des troubles moteurs chez l'enfant. Par exemple, 75 % des enfants présentant des RPs non intégrés montrent des difficultés de coordination motrice et 60 % d'entre eux rencontrent des problèmes de motricité fine, affectant des activités telles que l'écriture ou la manipulation d'objets. Une étude a révélé une corrélation négative entre l'activité des RPs et l'efficacité motrice lors d'exercices dynamiques (ex : les Jumping Jacks), l'activité des RPs étant associée à des limitations de l'équilibre et de la coordination, compromettant l'exécution fluide et stable de ces mouvements (Pecuch et al., 2021). Bien que ces études se concentrent principalement sur des enfants plus jeunes, leurs conclusions peuvent être extrapolées aux adolescents et aux jeunes adultes, notamment dans des contextes sportifs exigeants tels que le football. L'activité des RPs pourrait entraîner des difficultés de coordination, d'équilibre et de motricité fine, impactant non seulement des tâches quotidiennes comme l'écriture, mais aussi des activités sportives complexes. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons à l'activité des RPs chez les joueurs de football pour évaluer leur incidence sur les blessures, ainsi que leur effet sur les compétences technico-tactiques et physiques. Cette analyse exploratrice vise à éclairer la compréhension de l'impact des RPs sur la performance athlétique et la prévention des blessures, posant ainsi les bases de la section théorique sur ces RPs.

4 Bases théoriques des réflexes primitifs étudiés : une analyse détaillée

4.1 Histoire, définition et rôle

Les RPs, sont des réponses automatiques, rapides et involontaires qui apparaissent dès la vie in utero (Illingworth, 1987). L'intérêt scientifique pour les RPs a émergé au XIX^e siècle, lorsque Wilhelm Preyer et Charles Sherrington ont commencé à observer et à décrire ces phénomènes chez les nouveau-nés (Boes, 2014; Sherrington, 1910). Ces premières recherches ont mis en lumière le rôle crucial des RPs en tant que mécanismes de survie, permettant au nourrisson de réagir à des stimuli essentiels pour sa survie, notamment pour l'alimentation et la protection (Dyck et al., 2005). L'avancement des connaissances en neurosciences, a permis de mettre en évidence le rôle fondamental des RPs dans le développement neuromoteur lors des premiers mois (Zafeiriou, 2004). En facilitant les premiers mouvements et les premières interactions avec l'environnement, les RPs préparent le terrain pour l'émergence de la motricité volontaire, qui est essentielle

pour l'acquisition des compétences motrices plus complexes (Capute et al., 1982; Marrus et al., 2018). Les RPs sont régis principalement par des circuits neuronaux simples situés dans le tronc cérébral. Le tronc cérébral, souvent qualifié de « cerveau primitif », est l'une des structures les plus anciennes du système nerveux central en termes d'évolution (Purves et al., 2019). Il constitue également le point d'origine de la majorité des nerfs crâniens, qui contrôlent des fonctions essentielles telles que la motricité et la sensibilité du visage, ainsi que des réflexes vitaux. De plus, il abrite les noyaux vestibulaires, essentiels à la régulation de l'équilibre et de la posture (Purves et al., 2019). Situé entre le cerveau et la moelle épinière, il est composé du mésencéphale, du pont et de la moelle allongée (figure 2).

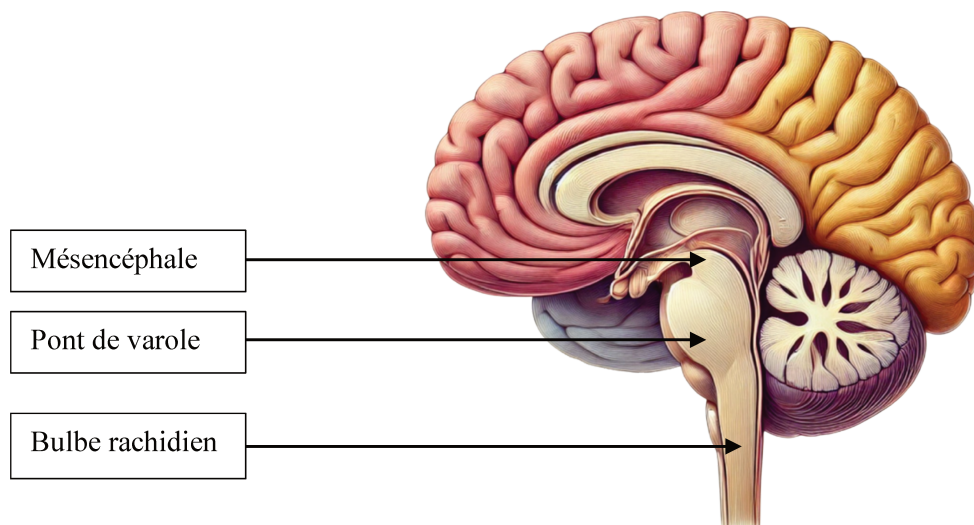


Figure 2 Schéma simplifié des structures du tronc cérébral

Ces structures ont été identifiées comme les centres de contrôle des fonctions vitales grâce aux travaux pionniers en neurosciences, notamment ceux de neurologues comme Paul Broca¹ au XIX^e siècle. Sa désignation comme « cerveau primitif » provient de son rôle fondamental dans la survie. Il contrôle des fonctions automatiques telles que la respiration, la fréquence cardiaque, et les réflexes innés qui assurent une réponse rapide aux stimuli environnementaux. Les RPs observés dès la naissance comme le réflexe de Moro sont directement régis par des circuits neuronaux situés dans le tronc cérébral. À mesure que le système nerveux central se développe, l'intégration progressive des RPs favorise le développement des voies corticales supérieures, permettant une transition vers des formes de contrôle moteur plus élaborées et conscientes (Arcilla & Vilella, 2023). Ce processus d'intégration permet de substituer progressivement les mouvements automatiques induits par les RPs par des mouvements volontaires et contrôlés, essentiels à la

¹ Paul Broca (1824-1880) : Neurologue et anthropologue français, célèbre pour ses découvertes sur les bases cérébrales du langage, notamment l'aire de Broca, une région du cerveau associée à la production du langage. Ses travaux ont également contribué à l'étude des fonctions cérébrales, notamment par des observations sur les structures sous-corticales.

réalisation d'activités motrices complexes telles que le retournement, la quadrupédie, la marche et la préhension (Payne & Isaacs, 2020). L'origine de cette compréhension repose sur l'analyse des comportements moteurs des nouveau-nés et les observations cliniques chez des patients présentant des lésions cérébrales. Ces travaux ont permis d'identifier le tronc cérébral comme le siège principal de ces RPs. Ainsi, la persistance de RPs au-delà de l'enfance est souvent un indicateur de dysfonctionnements du système nerveux central, soulignant le rôle pivot du tronc cérébral dans la maturation neuromusculaire.

L'évaluation des RPs a connu une évolution significative au fil du temps. Les premières méthodes d'évaluation, telles que celles utilisées par Landau et Moro pour le réflexe de Moro (RM) et le RP de Landau, se concentraient sur l'observation qualitative de ces RPs chez les nourrissons. Ces RPs étaient considérés comme des indicateurs clés de la maturation neurologique (Capute et al., 1978). A partir des années 1960 et 1970, les avancées en neurologie pédiatrique ont conduit au développement d'approches plus systématiques et quantitatives pour mesurer la présence et l'intensité des RPs. Ces méthodes incluaient des protocoles standardisés pour la stimulation et l'observation des réponses RPs, fournissant ainsi des bases solides pour l'évaluation clinique (Amiel-Tison, 1968).

Quelques années plus tard, des chercheurs tels que Weir et Lewis ont introduit des échelles de mesure des réflexes (par exemple le réflexe rotulien) (Weir & Lewis, 1886), allant de "0" pour une absence du réflexe, à des scores plus élevés indiquant une réponse réflexe plus marquée. Ces échelles ont permis de mieux catégoriser les réflexes et les RPs en fonction des symptômes et de leur sévérité, établissant ainsi une méthode rigoureuse pour évaluer le développement neurologique chez les enfants. Le travail de Peter Blythe et Sally Goddard Blythe dans les années 1970, avec la création de l'Institut pour la Psychologie Neurophysiologique (INPP), a également été une étape importante dans l'évaluation des RPs. Leur méthodologie d'évaluation des RPs appliquée à des populations saines a permis d'identifier la persistance des RPs au-delà de l'âge typique d'intégration, ouvrant de nouvelles perspectives sur les liens entre ces RPs et les troubles du développement (Goddard et al., 2009). L'évaluation continue des RPs pourrait être l'une des clés pour la détection précoce de troubles du développement, soulignant leur rôle central dans le continuum du développement moteur et cognitif (Gieysztor, Sadowska, et al., 2017; Taylor et al., 2020).

4.2 Étapes motrices : jalon du développement moteur.

Le développement moteur se déroule à travers plusieurs étapes clés, considérées comme des jalons essentiels de son évolution. Chaque RP contribue ainsi au développement moteur du nourrisson, facilitant l'acquisition de mouvements de plus en plus coordonnés et intentionnels (Hinnekens et al., 2023). Ces étapes reflètent l'intégration progressive des RPs et la transition vers des mouvements de plus en plus volontaires et maîtrisés (Capute et al., 1982).

- Le retournement est le premier mouvement dans le développement de la coordination motrice et de la force musculaire chez les nourrissons. Ce mouvement inclut les patrons de roulement segmentaire, où le nourrisson passe du décubitus ventral au décubitus dorsal à l'âge moyen de 3,5 mois ($\pm 1,5$ mois). Environ quelques semaines plus tard, il passe du décubitus dorsal au décubitus ventral à l'âge moyen de 4,9 mois ($\pm 1,3$ mois). Durant cette période, les RPs sont majoritairement actifs chez 60 à 85 % des nourrissons en fonction du RP testé (Capute et al., 1982).
- La position assise représente une étape importante dans le développement postural et moteur des nourrissons, car elle marque un progrès significatif dans leur capacité à interagir avec leur environnement. L'enfant commence à s'asseoir avec un soutien, utilisant ses bras pour se stabiliser vers 6,3 mois ($\pm 1,2$ mois). À ce stade, les RPs sont actifs chez 50 à 80 % des nourrissons en fonction du RP testé (Capute et al., 1982).
- Le rampé est l'un des premiers mouvements actifs que les nourrissons exécutent, typiquement autour de 6,7 mois ($\pm 1,5$ mois). Ce mouvement permet de développer la coordination motrice et augmenter la force musculaire (Kuiper et al., 2019). Le rampé encourage l'utilisation coordonnée des bras et des jambes, ce qui est essentiel pour l'intégration des RPs et permettant des mouvements plus volontaires et coordonnés (cf. chapitre 1- partie 4.4). A cette étape, les RPs sont actifs chez 10 à 60 % des nourrissons en fonction du RP testé (Capute et al., 1982).
- La quadrupédie ou déplacement à quatre pattes apparaît généralement entre 7,8 mois ($\pm 1,7$ mois). C'est une étape qui permet la coordination inter-membres et de la synchronisation des hémisphères cérébraux (Kuiper et al., 2019). Ce mouvement contribue de manière significative à l'intégration des RPs et à la préparation des muscles et du système nerveux pour la marche bipède (cf. Transition vers les réflexes posturaux). À 12 mois, certains RPs sont totalement intégrés, avec des scores de présence extrêmement faibles ($<3\%$), facilitant ainsi un meilleur contrôle moteur et une coordination améliorée (Capute et al., 1984). Cependant, certains RPs restent actifs chez 30 à 40% des nourrissons.
- La marche est l'aboutissement du développement moteur chez les nourrissons, se produisant généralement autour de 11,7 mois ($\pm 1,9$ mois). La marche autonome nécessite une coordination complexe des membres et une intégration quasi complète des RPs comme le RTL (actif chez moins de 3% des nourrissons), le RM (actif chez moins de 20% des nourrissons) et le RTAC (toujours actif chez environ 30% des nourrissons), qui doivent être totalement inhibés pour permettre un mouvement fluide et parfaitement coordonné. Le RTAC terminera son intégration par le système nerveux central jusqu'au 24^{ème} mois pour certains nourrissons. À ce stade, les réflexes posturaux de redressement et d'équilibre prennent le relais pour soutenir la posture et la stabilité pendant la marche (Capute et al., 1984; Hinnekens et al., 2023). La maîtrise de la marche bipède est également

associée à une maturation avancée du système nerveux central, facilitant la coordination entre les hémisphères cérébraux et la régulation posturale (Marrus et al., 2018).

Ainsi, l'intégration des RPs se déroule généralement au cours des 24 premiers mois de la vie. A noter que ce processus peut se poursuivre au-delà de cette période, en fonction du développement individuel de chaque enfant. Il existe une période critique durant laquelle cette intégration doit se produire pour garantir un développement neurologique sain. Si les RPs ne sont pas intégrés pendant cette période, cela peut indiquer des retards ou des troubles du développement qui nécessitent une intervention (Calvin & Ramli, 2020; Marrus et al., 2018).

4.3 Identification et fonction dans le développement moteur

Le développement moteur des enfants repose sur un ensemble complexe de plus de 70 RPs et réflexes posturaux. Les réflexes posturaux, sont des réponses motrices automatiques qui émergent après la phase des RPs et soutiennent le contrôle postural et l'équilibre (liste non exhaustive figure 3). Ces réflexes permettent aux enfants et aux adultes de maintenir leur posture contre la gravité et de coordonner leurs mouvements de manière fluide. Contrairement aux RPs, les réflexes posturaux perdurent et contribuent aux ajustements nécessaires pour des activités telles que la marche et le maintien de l'équilibre (Zafeiriou, 2004).

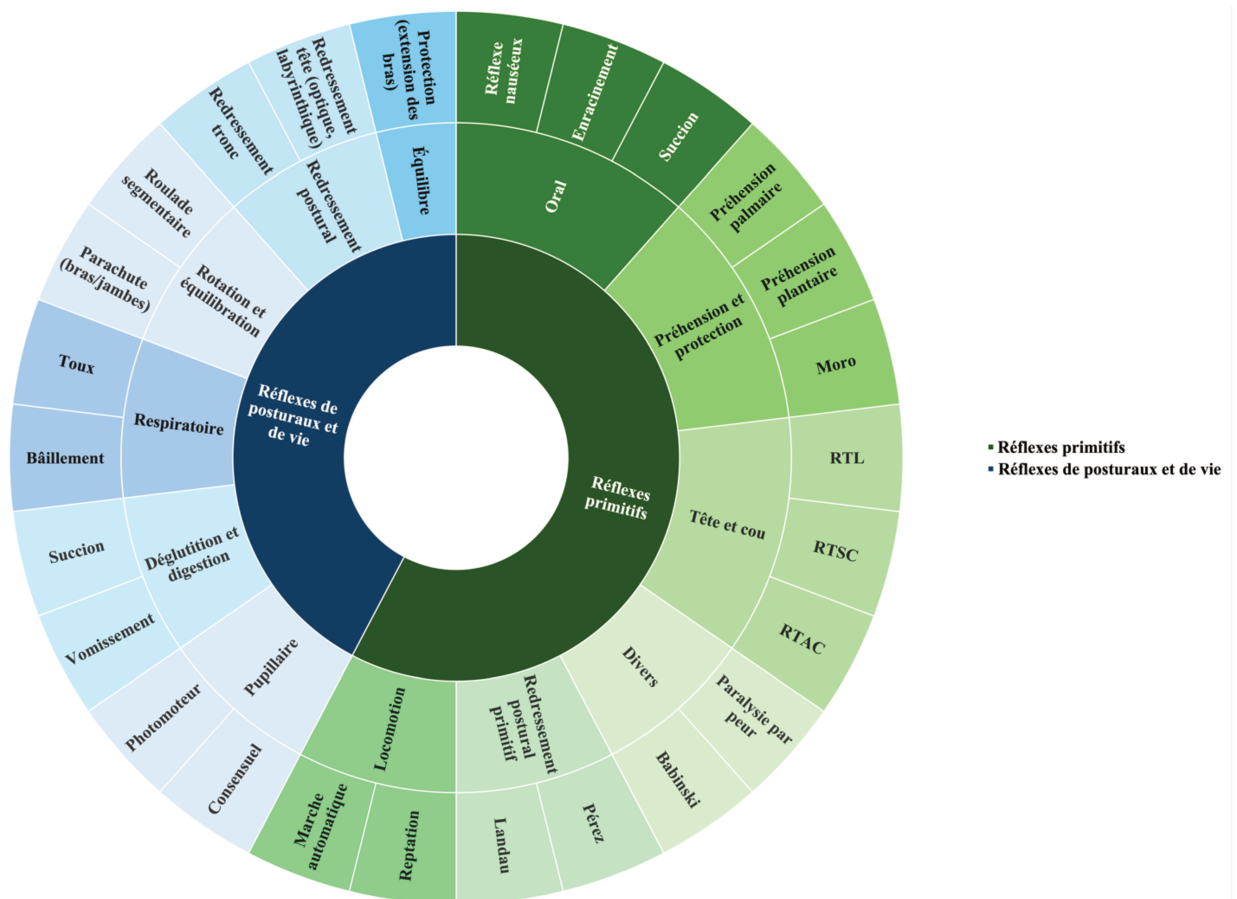


Figure 3 Classification des principaux réflexes primitifs, posturaux et de vie²

Les RPs, bien que souvent sous-estimés dans leur diversité et leur complexité, jouent chacun un rôle crucial et spécifique dans le développement neuromoteur et sensoriel de l'enfant (Capute et al., 1982). Ils agissent comme des fondations sur lesquelles se construisent les compétences motrices et sensorielles plus avancées. Ils jouent un rôle essentiel dans le développement initial en aidant à l'établissement de connexions neuromusculaires et en facilitant l'intégration sensorimotrice, ce qui prépare l'enfant à des actions motrices volontaires plus complexes (Zafeiriou, 2004). Chaque RP, qu'il s'agisse d'un réflexe de protection comme le RM ou d'un réflexe lié à l'alimentation comme le réflexe de succion, contribue à la préparation des systèmes moteurs et sensoriels pour un fonctionnement plus sophistiqué. L'importance des RPs dans la maturation neurologique est démontrée par leur persistance dans des conditions pathologiques et leur disparition normale à mesure que le système nerveux central mature (Zafeiriou et al., 1995).

Dans ce projet de thèse, nous avons choisi de concentrer nos recherches sur quatre RPs spécifiques (détaillés dans la partie suivante), en les sélectionnant selon deux critères principaux.

² RTAC = Réflexe tonique asymétrique du cou ; RTSC = Réflexe tonique symétrique du cou ; RTL = Réflexe Tonique Labyrinthique.

- Premièrement, les RPs choisis devaient avoir déjà fait l'objet d'études scientifiques approfondies dans le domaine des compétences motrices. Cette exigence garantit que notre recherche s'appuie sur une base solide de connaissances et de données existantes, permettant une analyse comparative et une validation des résultats obtenus.
- Deuxièmement, nous avons retenu des RPs pour lesquels des méthodologies de test ont été établies par plusieurs études scientifiques. Cette seconde exigence assure la fiabilité et la reproductibilité des tests utilisés, permettant une évaluation précise et standardisée de la présence et de l'impact de ces RPs.

En plus de ces critères, il est important de noter que les RPs choisis doivent être pertinents pour les questions de recherche spécifiques que nous explorons, notamment en relation avec les compétences nécessaires dans le sport de haut niveau et les performances motrices.

4.3.1 Réflexe tonique asymétrique du cou (RTAC)

Le RTAC (figure 4) émerge dès la vie intra-utérine, généralement autour de la 18^e semaine de gestation (Illingworth, 1987). Lorsqu'un nourrisson tourne sa tête d'un côté, le RTAC provoque une extension du bras et de la jambe du même côté, tandis que les membres opposés se fléchissent. Ce mécanisme facilite la coordination croisée, essentielle pour les mouvements bilatéraux, et contribue à la différenciation des hémisphères cérébraux en renforçant les circuits neuronaux liés à la coordination motrice et à la perception sensorielle (Goddard Blythe, 2015). Le RTAC est également impliqué dans le développement de la coordination

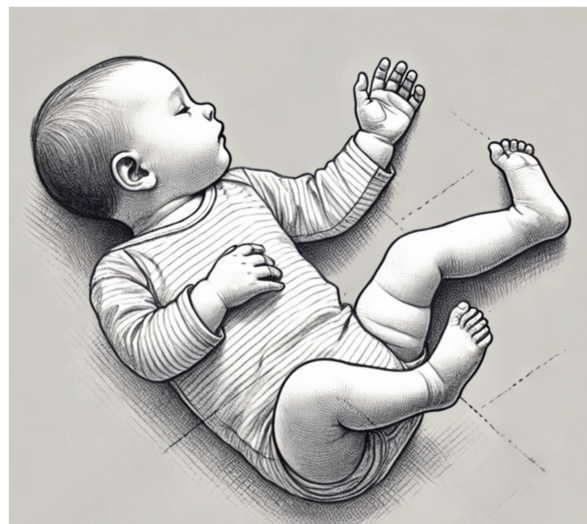


Figure 4 Image du nourrisson lorsque le RTAC (gauche) est actif

main-œil, cruciale pour l'exploration visuelle et l'interaction avec l'environnement. Il prépare également l'enfant à l'acquisition de compétences motrices plus complexes comme la capacité de croiser la ligne médiane, un prérequis pour des activités telles que la lecture (McPhillips & Sheehy, 2004). Le RTAC est généralement intégré par le système nerveux central entre 6 et 9 mois (cf. 1.1.2 étapes motrice). Il trouve principalement son origine dans le tronc cérébral, impliquant les noyaux vestibulaires et mobilisant deux nerfs crâniens essentiels : le nerf vestibulocochléaire (nerf crânien VIII), qui confère une composante vestibulaire en participant au maintien de l'équilibre et à la perception des mouvements de la tête, et le nerf accessoire spinal (nerf crânien XI), responsable de l'innervation des muscles du cou (Arcilla & Vilella, 2023; Parr et al., 2008). Le RTAC est ainsi classé à la fois comme un RP proprioceptif, déclenché par des

signaux provenant des récepteurs sensoriels dans les muscles, les tendons et les articulations, et comme un RP b en raison de l'implication du système vestibulaire (Montgomery et al., 2015).

4.3.2 Réflexe tonique symétrique du cou (RTSC)

Le RTSC (figure 5) émerge après la vie intra-utérine, généralement autour du 6e mois (Capute et al., 1984). Il se manifeste par des réponses motrices spécifiques : lorsque la tête est inclinée vers l'avant, les bras fléchissent et les jambes s'étendent. À l'inverse, quand la tête est relevée vers l'arrière, les bras s'étendent et les jambes se fléchissent. Le RTSC aide à la transition du nourrisson vers la position de quadrupédie, essentielle pour ramper et, par la suite, marcher. Il contribue à la coordination entre les mouvements des membres supérieurs et inférieurs, favorisant ainsi la dissociation des mouvements automatiques de la tête et des membres (Capute et al., 1984). Il prend son origine principalement dans le tronc cérébral. Deux nerfs crâniens jouent un rôle clé dans ce RP : le nerf crânien VIII et le nerf crânien XI. Le nerf vestibulocochléaire, impliqué dans l'équilibre et la perception des mouvements de la tête, confère au RTSC une composante vestibulaire essentielle. Le nerf accessoire spinal, responsable de l'innervation des muscles du cou, joue un rôle direct dans la réponse motrice associée à ce RP (Fiorentino, 2014). Le RTSC est donc classé à la fois comme un réflexe proprioceptif, en raison de l'implication des récepteurs sensoriels dans les muscles, les tendons et les articulations, et comme un réflexe vestibulaire, en raison de l'engagement du système vestibulaire à travers le nerf vestibulocochléaire (Goddard Blythe, 2015).

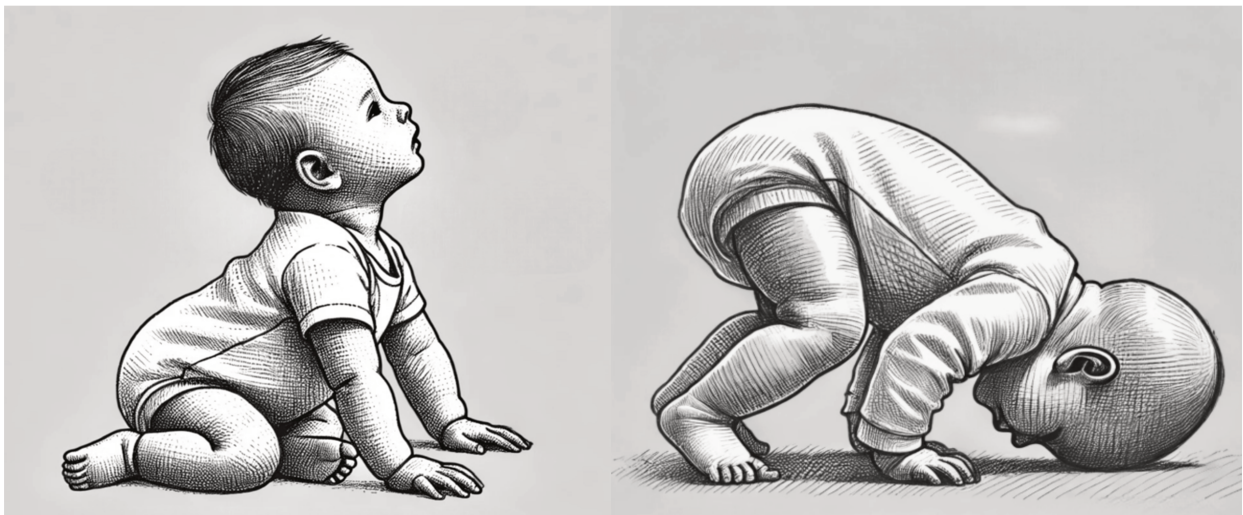


Figure 5 Image du nourrisson lorsque le RTSC est actif : en extension à gauche ; en flexion à droite.

4.3.3 Réflexe de Moro (RM)

Le RM (figure 6) est un RP observé chez le nouveau-né dès la 28e semaine de gestation (Edwards & Khalili, 2023). Déclenché par des stimuli soudains tels qu'un bruit fort ou un changement rapide de position, il se manifeste par une extension brusque des bras suivie d'un mouvement d'étreinte. Son intégration par le système nerveux central se produit généralement entre le 4e et le 6e mois après la naissance, mais un retard

ou une intégration incomplète peut entraîner des perturbations motrices, sensorielles, émotionnelles et comportementales (Gordon, 1929). Il trouve son origine dans les structures du tronc cérébral, principalement impliquant le nerf crânien III, VIII et le nerf crânien XI, qui jouent des rôles clés dans la réponse motrice et l'équilibre (Brigo et al., 2022). Classé comme un réflexe de protection et de survie, il est déclenché par des stimuli sensoriels soudains, augmentant l'état de vigilance et mobilisant les systèmes moteurs pour une réaction immédiate (Gordon, 1929).



Figure 6 Image du nourrisson lorsque le Moro est activé

4.3.4 Réflexe tonique labyrinthique (RTL)

Présent dès la naissance, le RTL (figure 7) est déclenché par la position de la tête par rapport à la gravité et influence directement le tonus musculaire, en lien étroit avec le système vestibulaire, responsable de l'équilibre et de la perception de l'orientation corporelle. Le RTL se manifeste de deux manières : en position allongée sur le dos (RTL de décubitus dorsal), où l'extension de la tête entraîne une augmentation du tonus des muscles extenseurs et l'extension des membres, et en position allongée sur le ventre (RTL de décubitus ventral), où la flexion de la tête stimule les muscles fléchisseurs, provoquant la flexion des membres. Ce RP joue un rôle crucial dans le développement des schémas moteurs posturaux et l'intégration sensorimotrice, et est généralement intégré par système nerveux central au cours de la première année de vie, permettant un contrôle postural plus sophistiqué. Il trouve son origine dans les structures du tronc cérébral, impliquant les nerfs crâniens VIII et XI, les noyaux vestibulaires. Ce RP est activé par les récepteurs de l'oreille interne, qui détectent l'orientation de la tête par rapport à la gravité, jouant un rôle crucial dans le maintien de la posture et de l'équilibre (Takagi et al., 1991).

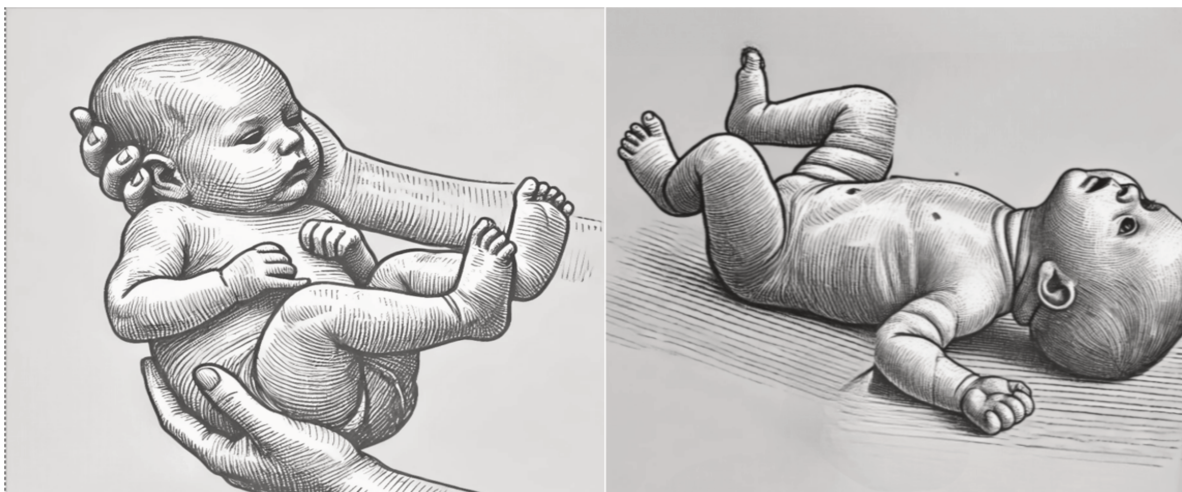


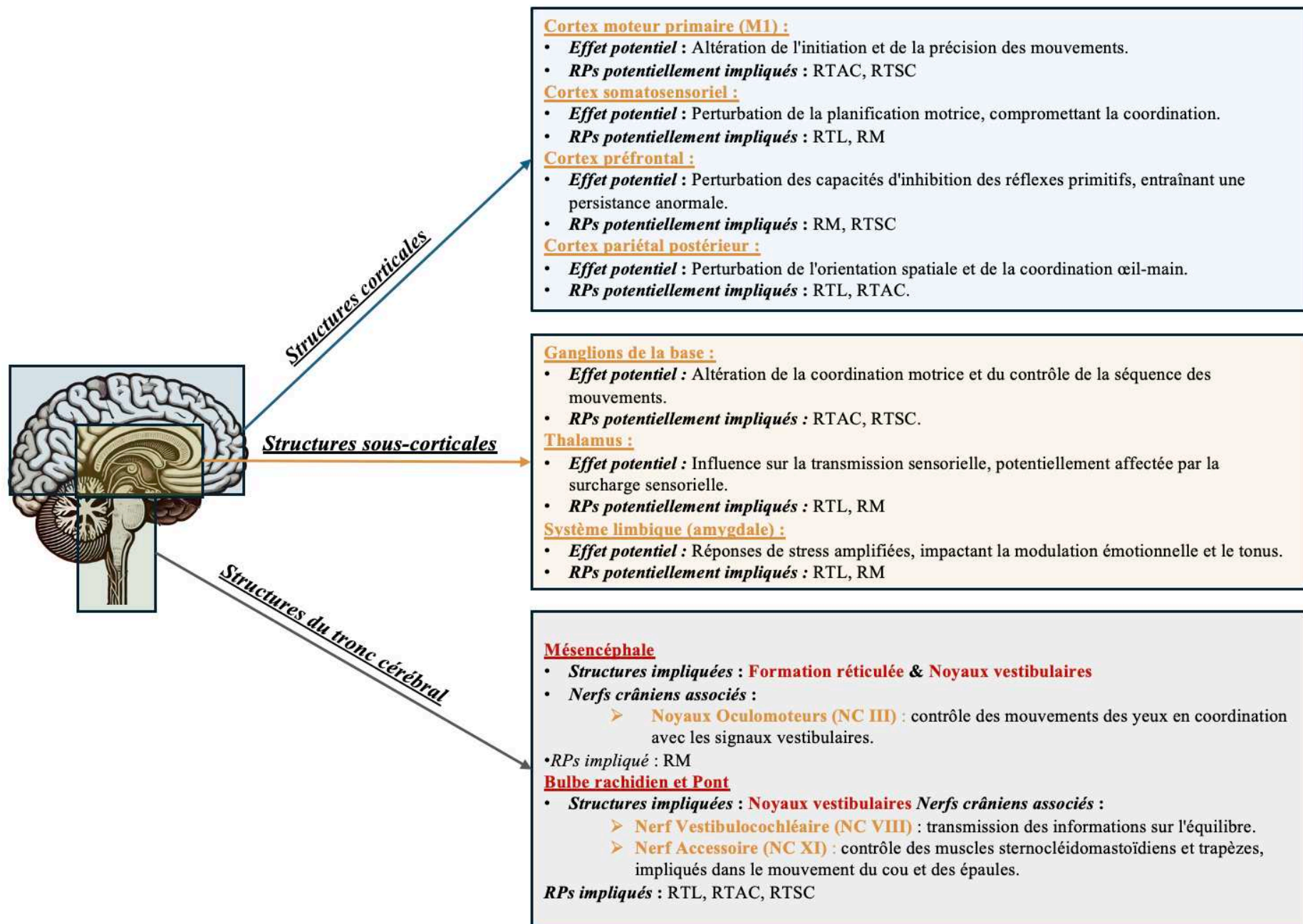
Figure 7 Image du nourrisson lorsque le RTL est actif : en flexion à gauche ; en extension à droite.

4.4 Intégration des réflexes primitifs par le système nerveux centrale

L'intégration des RPs se produit lorsque les structures corticales ont atteint une maturité suffisante pour exercer un contrôle inhibiteur sur les circuits neuronaux qui sous-tendent ces réflexes. Ce processus d'inhibition repose sur plusieurs mécanismes essentiels :

- **Inhibition active** : Les structures corticales jouent un rôle crucial en envoyant des signaux inhibiteurs aux structures du tronc cérébral, ce qui empêche l'activation automatique des réflexes primitifs, même en présence de stimuli spécifiques. Les ganglions de base soutiennent ce processus en modulant ces signaux et en facilitant la transition vers un contrôle moteur plus conscient. En agissant comme un filtre, ils aident à gérer le passage des réponses automatiques aux actions volontairement contrôlées, contribuant ainsi à un développement moteur plus avancé et coordonné (Leisman et al., 2014; Melillo et al., 2020).
- **Transition vers les réflexes posturaux** : L'intégration des RPs favorise leur remplacement par des réflexes posturaux plus sophistiqués, tels que le réflexe de redressement, qui permet au nourrisson de stabiliser la position de sa tête et de développer une posture plus équilibrée. Cette transition soutient le passage vers des comportements moteurs plus complexes et intentionnels (Payne & Isaacs, 2020; Zafeiriou, 2004).
- **Réorganisation neuronale** : L'intégration des RPs s'accompagne d'une réorganisation des circuits neuronaux au sein du système nerveux central. Les synapses impliquées dans les réponses des RPs s'affaiblissent progressivement, tandis que de nouvelles connexions synaptiques se forment pour permettre l'exécution de mouvements intentionnels et le développement de comportements moteurs plus élaborés (Sing et al., 2009).

Lorsque les RPs ne sont pas intégrés correctement par le système nerveux central on parle de RPs actifs. Ils peuvent entraîner une série de perturbations dans le développement moteur, cognitif, et comportemental des enfants (figure 8).



SNC = système nerveux central, RP = réflexe primitif **Rouge** : Structures impliquées dans la régulation des RPs. **Orange** : Structures qui peuvent être altérées par les RPs actifs.

Figure 8 Schéma Simplifié du système nerveux central : structures clés dans la régulation des RPs et la coordination motrice

4.5 Conséquences de l'activité des réflexes primitifs

4.5.1 Conséquences des réflexes primitifs actifs sur le mouvement

Le mouvement repose sur l'intégration harmonieuse de trois systèmes sensoriels clés : les systèmes **proprioceptif**, **vestibulaire** et **visuel** (Badakva et al., 2023). Cette intégration multisensorielle est essentielle pour toute activité motrice complexe, du maintien de la posture à la réalisation de tâches spécifiques telles que la marche ou l'interaction avec des objets (Shaikh et al., 2019). Le système **proprioceptif** fournit une perception interne précise de la position du corps dans l'espace, essentielle pour des mouvements fluides et contrôlés (Moitra & Sharma, 2017). Le système **vestibulaire**, quant à lui, détecte la position et les mouvements de la tête, jouant un rôle central dans le maintien de l'équilibre et du regard, même lors des actions les plus rapides et les plus complexes (Priot, 2005). Enfin, le système **visuel** apporte des repères critiques pour l'orientation spatiale et la navigation (Priot, 2005). Ces trois systèmes travaillent en synergie pour permettre d'ajuster leurs mouvements en temps réel face à des situations dynamiques (figure 9).

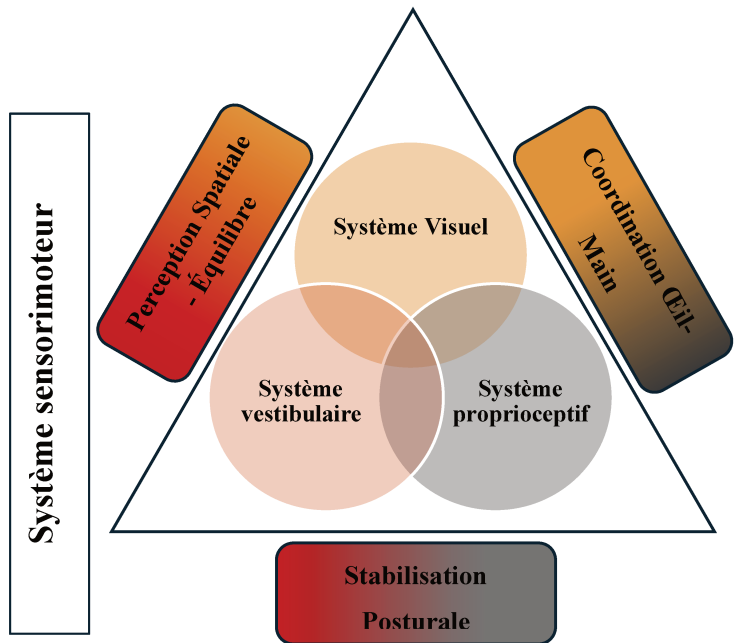
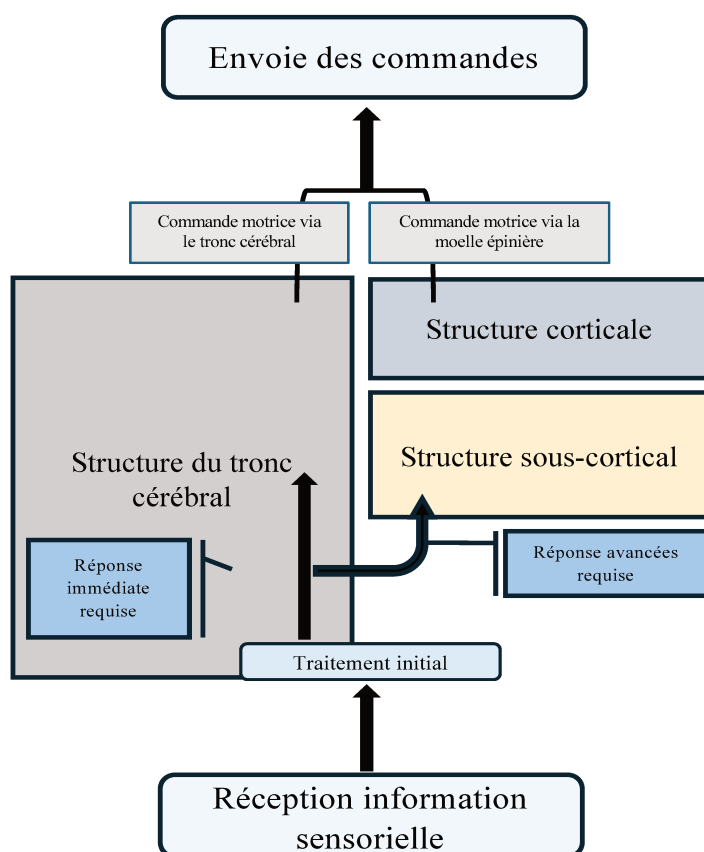


Figure 9 Interaction des systèmes sensoriels dans le contrôle moteur

Ces systèmes sensoriels permettent au système nerveux central de traiter l'ensemble des informations nécessaires au mouvement, en s'appuyant sur l'intégration des signaux au niveau du tronc cérébral, ainsi que des structures corticales et sous-corticales (figure 10). Le tronc cérébral joue un rôle crucial dans la coordination des réponses réflexes et des ajustements posturaux, tandis que les structures corticales et sous-corticales, telles que le cortex moteur et les noyaux gris centraux, interviennent dans la planification et l'exécution des mouvements. Cette organisation permet au système nerveux central de maintenir la posture et l'équilibre tout en adaptant les mouvements aux exigences de l'environnement (Bioulac et al., 2005).



Son développement implique des connexions complexes entre différentes régions du cerveau, telles que les structures corticales et le tronc cérébral (Bioulac et al., 2005).

Figure 10 Schéma simplifié du système nerveux central et du traitement des informations sensorimotrices

L'activité des RPs après l'âge normal d'intégration (cf. partie 4.4 identification des RPs) apparait comme un indicateur d'une immaturité du système nerveux central (Zielińska & Goddard Blythe, 2020). Selon la théorie de la dissolution de Jackson, l'activité des RPs est liée à une dysrégulation des niveaux supérieurs du cerveau, ce qui peut entraîner une surcharge et augmenter la fatigabilité du système nerveux central, car le cerveau doit constamment compenser l'activité des RPs actifs (Franz & Gillett, 2011). Cette surcharge limite la capacité du système nerveux central à exécuter efficacement d'autres tâches cognitives ou motrices, réduisant ainsi les performances globales (Taylor et al., 2020). Cela pourrait se manifester par des difficultés à maintenir une fixation oculaire stable ou à coordonner les mouvements des yeux (González et al., 2008) compromettant ainsi les intentions de mouvement (Goddard Blythe, 2015). Par exemple, le RM actif pourrait affecter la réponse des muscles oculomoteurs aux stimuli sensoriels, entraînant des anomalies dans le contrôle visuel (Rašić Canevska, 2019). Son activité pourrait être l'une des causes des difficultés rencontrées lors de la lecture ainsi que d'autres tâches nécessitant une coordination œil-main (McPhillips & Sheehy, 2004).

Chez les enfants atteints de troubles neurologiques, cette réorganisation inefficace peut exacerber les symptômes associés, notamment en perturbant le développement des fonctions supérieures telles que la

coordination motrice et l'attention (Taylor et al., 2020 ; Niklasson & Niklasson, 2022). Chez les enfants atteints de TDAH, des RPs comme le RTAC et le RTL actifs pourraient aggraver les symptômes d'hyperactivité et d'inattention (Chinello et al., 2018; Taylor et al., 2020). De même, chez les enfants diagnostiqués autistes, l'activité des RPs augmenterait les difficultés de régulation des mouvements (Chinello et al., 2018). Enfin, les anomalies dans l'intégration des RPs pourraient aussi avoir des répercussions sur l'anxiété, les troubles émotionnels, et les interactions sociales. Par exemple, le RM lorsqu'il est actif serait liée à une hyperréactivité émotionnelle, ce qui pourrait entraîner des comportements sociaux inappropriés et des difficultés d'adaptation dans des contextes sociaux (Niklasson & Niklasson, 2022; Rousseau et al., 2017).

4.5.2 Apprentissage et compétences académiques.

Les compétences académiques seraient aussi diminuées par l'activité des RPs. Le RTAC et le RTL, pourraient interférer avec le développement des compétences de lecture et d'écriture (McPhillips & Sheehy, 2004). D'après la littérature, les RPs actifs peuvent affecter la coordination œil-main et la perception visuelle, ce qui complique l'acquisition des compétences en lecture et en écriture (McPhillips et al., 2000; Montgomery et al., 2015). A ce propos, une autre étude a indiqué que 48 % des enfants d'âge primaire avaient des RPs actifs, un facteur pouvant contribuer à des difficultés scolaires, notamment dans la lecture et l'écriture (McPhillips & Jordan-Black, 2007). Une autre étude a quant à elle mis en lumière une corrélation négative significative entre l'activité de ces RPs et la capacité à lire l'heure sur une horloge analogique, une compétence nécessitant une compréhension des relations spatiales et temporelles. Les enfants présentant des niveaux élevés du RTAC et du RTSC ont montré des performances inférieures dans les tests de lecture de l'heure, suggérant un retard dans la maturation neuromotrice (Kalemba et al., 2023). Les RPs actifs pourraient potentiellement expliquer pourquoi certains athlètes, comme les footballeurs, peuvent éprouver des difficultés motrices inattendues ou être plus sujets aux blessures. La figure 7 « Schéma Simplifié du système nerveux central : structures clés dans la régulation des RPs et la coordination motrice » est une proposition de schématisation des systèmes impliqués dans le mouvement et l'implication des RPs actifs.

4.6 Synthèse de la revue de la littérature sur les réflexes primitifs

Pour réaliser cette revue de la littérature, nous avons utilisé la base de données PubMed en appliquant les mots-clés suivants : "primitive reflexes" ou "primitive reflex" ou "primary reflex", combinés avec les thématiques de recherche "motor", "skills", "abilities", "integration", "therapy", "cognitive", ou les noms des RPs étudiés. Nous avons restreint notre sélection aux articles dans lesquels ces mots-clés apparaissent explicitement dans le titre, afin de garantir une pertinence directe avec notre sujet d'étude. Cette recherche a permis d'identifier les études pertinentes en lien avec les RPs et leurs interactions avec les habiletés motrices, cognitives, certains troubles du comportement (TDA/H). Nous avons exclu de notre analyse les travaux portant spécifiquement sur les nourrissons ainsi que les études menées sur des populations pathologiques,

afin de nous concentrer sur les recherches impliquant des sujets en bonne santé, en particulier les populations athlétiques ou adultes fonctionnels (figure 11).

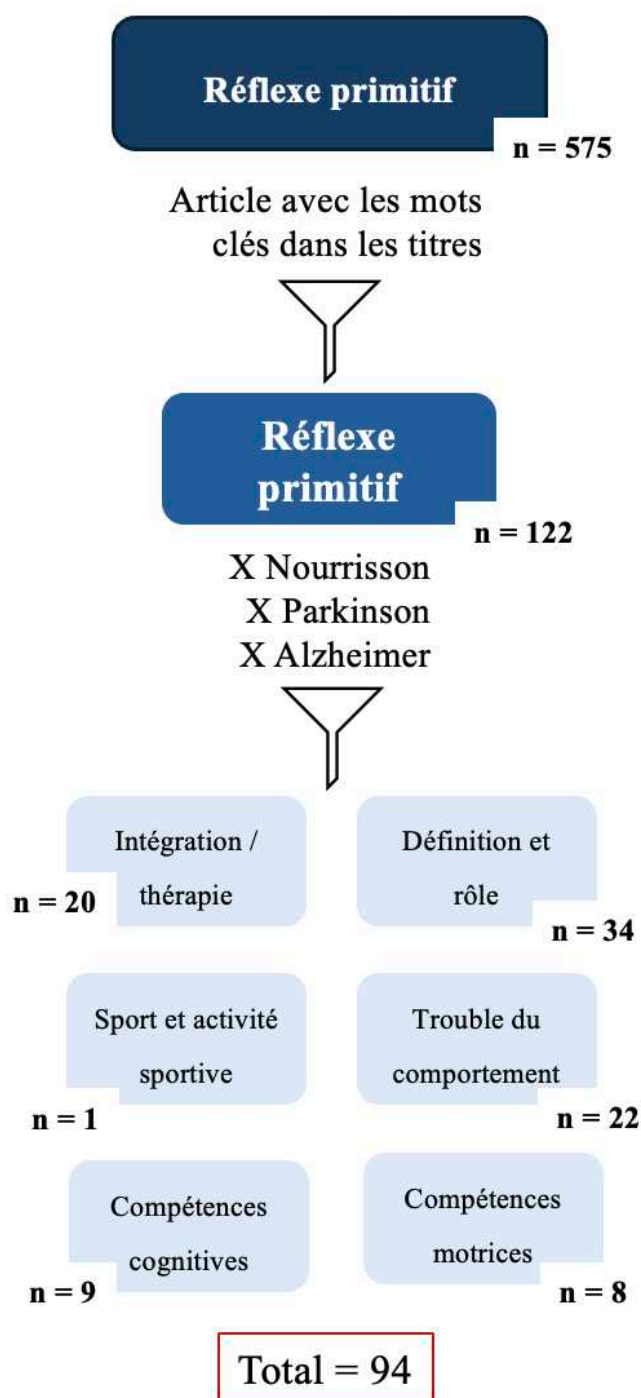


Figure 11 Processus de sélection des articles pour la revue de littérature sur les réflexes primitifs

La représentation met en lumière les lacunes de la littérature en ce qui concerne les liens entre RPs et activités sportives (figure 12) avec seulement un seul cas clinique publié.

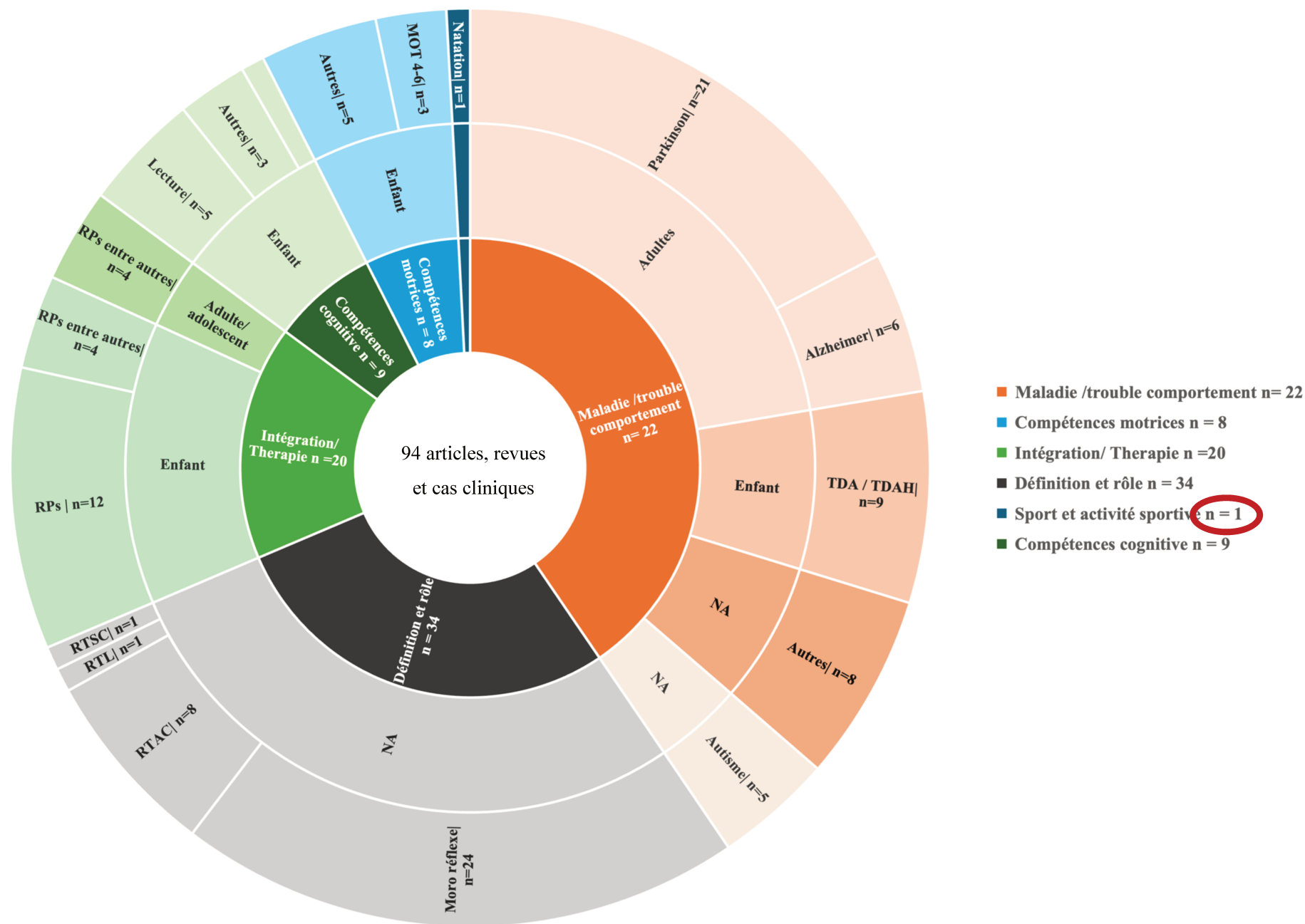


Figure 12 Représentation de la distribution de la revue de littérature sur les réflexes (primitifs, posturaux et de vies)

5 Impact potentiel des réflexes primitifs actifs dans la pratique du football

5.1 État actuel de la recherche sur les réflexes primitifs dans le domaine sportif

La recherche sur les RPs dans le domaine de la santé pédiatrique ou du développement neuromoteur des enfants est bien documenté, tandis que dans le domaine sportif, elle reste très limitée (voir figure 11). À ce jour, nous ne recensons qu'une seule étude dans ce domaine en dehors de ce travail de thèse. C'est une étude de cas réalisé sur les difficultés d'apprentissage de la natation chez les enfants en lien avec l'activité des RPs (2020).

Le cas clinique s'est focalisé sur deux jeunes filles de sept ans en cours d'apprentissage de la natation. Les tests effectués ont révélé que l'activité du RTL et du RTAC, influençait significativement leur capacité à acquérir des compétences en natation (Bogdanoviča & Lāriņš, 2020). Les résultats ont mis en évidence une corrélation négative entre le degré d'activité des RPs et les niveaux de compétence en natation, la jeune fille présentant moins de RPs actifs ayant obtenu de meilleurs résultats. A noter que cette étude de cas présente des limitations sur l'interprétation des résultats car elle porte sur seulement deux participants et dans un sport individuel cyclique (la natation), laissant peu de données sur les sports collectifs tels que le football. En outre il existe un manque évident d'études longitudinales dans ce domaine dans des population plus âgés, en bonne santé. Il apparait crucial d'examiner l'évolution des RPs sur une période prolongée afin de mieux comprendre leur impact à long terme sur la performance sportive, notamment chez les adolescents et jeunes adultes.

5.2 Justification de l'intérêt pour l'étude des réflexes primitifs dans le football.

Le football, en tant que sport de haut niveau, exige une performance motrice d'une efficacité optimale, où chaque mouvement est finement ajusté en réponse à la dynamique rapide et imprévisible du jeu. Cette performance repose sur une intégration fluide et harmonieuse des systèmes sensoriels dans la perception de l'environnement (Miller-Dicks et al., 2010).

Le système visuel fournit des informations cruciales sur la position des autres joueurs, la trajectoire du ballon et les limites du terrain, permettant au joueur d'anticiper et de réagir rapidement aux changements dans le jeu (Buscemi et al., 2024). Le système vestibulaire, responsable de l'équilibre, aide à maintenir une posture stable et à effectuer des mouvements complexes sans perdre l'équilibre, même dans des situations de contact physique ou de changement rapide de direction (Zsarnoczky-Dulhazi et al., 2022). Le système proprioceptif, quant à lui, permet au joueur de percevoir la position et les mouvements de

ses propres membres sans avoir besoin de les regarder, facilitant ainsi des actions fluides et coordonnées, comme le dribble ou la passe (Yılmaz et al., 2024).

Cependant, la présence de RPs actifs pourrait perturber cette intégration sensorimotrice, affectant directement la performance du joueur comme nous l'avons vu dans la partie 4.5.1 Conséquences de l'activité des réflexes primitifs. Par exemple, un RTAC actif pourrait entraîner une asymétrie dans la capacité de rotation du corps (Gieysztor et al., 2018; Grivas et al., 2006), rendant difficile le maintien d'une posture équilibrée lors des actions de jeu. De même, un RTL non intégré pourrait compromettre l'équilibre (Pecuch et al., 2018), affectant la capacité du joueur à maintenir une bonne posture et à exécuter des mouvements précis, notamment lors des sauts ou des changements de direction rapides. Dans le contexte du football de haut niveau, où le joueur doit s'adapter à chaque situation, une intégration sensorimotrice optimale paraît essentielle pour garantir des performances à la fois fluides et précises, permettant aux joueurs de réagir de manière rapide et efficace face aux exigences élevées du jeu (Kızılay & Cengiz, 2023). La figure 13 intitulée « Réflexes primitifs actifs et contrôle moteur : mécanismes neurophysiologiques et potentielle implication de la perturbation de l'action motrice par les réflexes primitifs » est une proposition de schématisation de l'implication négative des RPs actifs pendant les actions motrices.

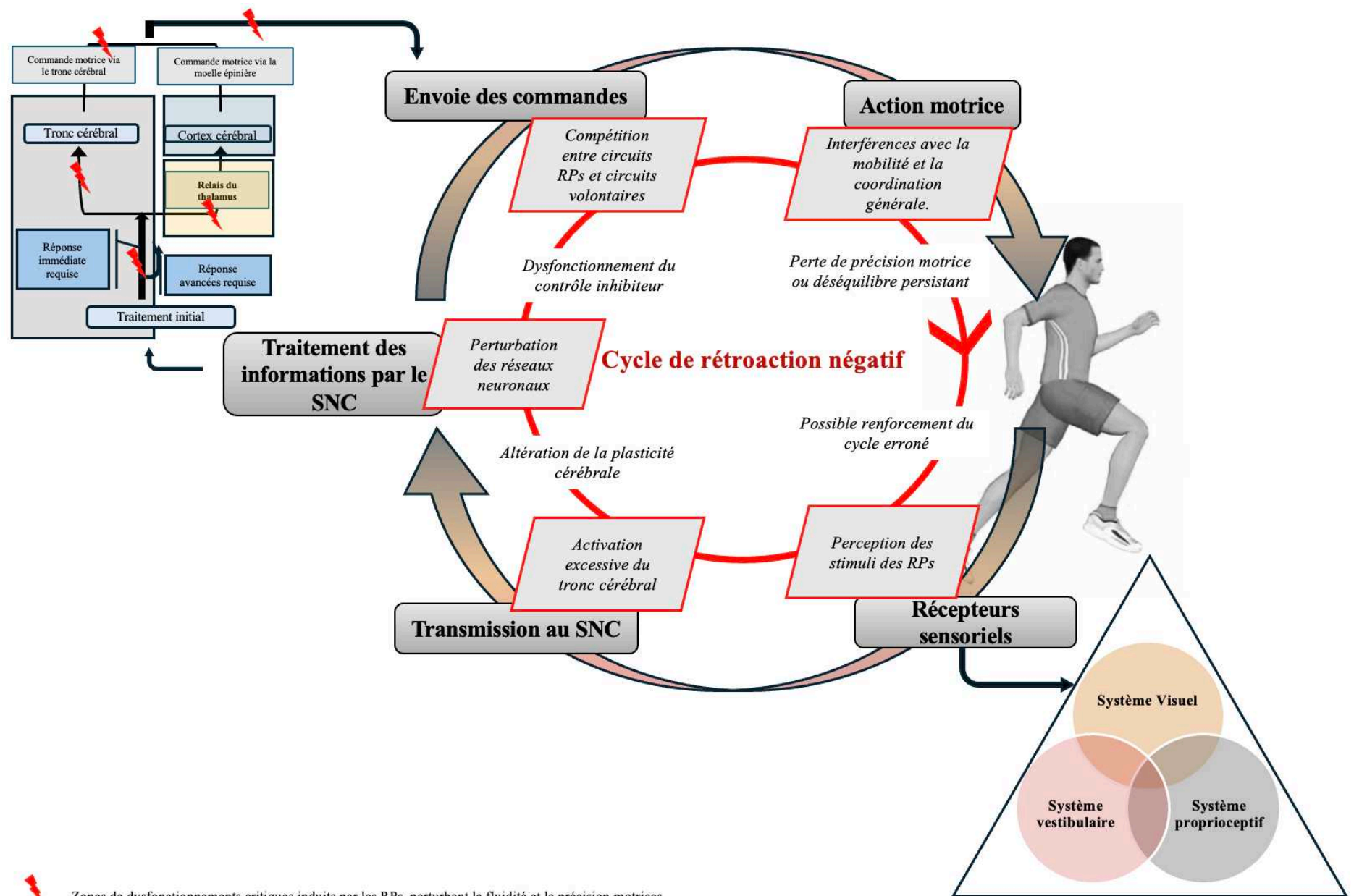


Figure 13 Réflexes primitifs actifs et contrôle moteur : mécanismes neurophysiologiques et potentielle implication de la perturbation de l'action motrice par les réflexes primitifs

6 Problématiques et hypothèses de travail

La littérature actuelle souligne que l'activité des RPs peut influencer de manière significative le développement des enfants en bonne santé, affectant la motricité, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, ainsi que des compétences comme la lecture de l'heure (voir partie introduction générale partie 4.5). Normalement, ces RPs s'intègrent progressivement à mesure que l'enfant grandit et que son système nerveux central mûrit (voir partie introduction générale partie 4.1). Cependant, peu de recherches se sont intéressées à leur persistance potentielle et à leur rôle dans le sport de haut niveau, où un contrôle moteur optimal est crucial.

L'étude de la littérature dans la section *état actuel de la recherche sur les RPs* nous a amené à formuler l'hypothèse que, même chez les joueurs de football évoluant dans un centre de formation professionnel, certains RPs peuvent ne pas être intégrés. De plus, il est possible que ces RPs actifs puissent avoir un impact négatif sur leurs performances sportives. Les travaux de cette thèse visent à tester la validité de ces hypothèses à travers deux phases de recherche. La phase préliminaire comprend l'observation de la prévalence des RPs actifs à l'aide de tests spécifiques et l'analyse des mouvements involontaires survenant lors de tâches motrices simples, telles que des sauts ou des courses sur tapis. Cette phase inclut également la mesure de la répétabilité d'une échelle d'évaluation de l'activité des RPs. La deuxième phase est une phase d'observation visant à observer l'impact des RPs actifs sur l'incidence des blessures et sur la performance des joueurs du centre de formation.

6.1 Phase préliminaire

Cette phase préliminaire se concentre sur l'étude des RPs dans notre population, indépendamment des performances sportives. Elle vise à établir les premières bases théoriques et à observer la prévalence et la manifestation des RPs actifs, afin de mieux comprendre leur présence et leur comportement dans cette population.

1. **Niveau d'activité et prévalence des RPs :** L'objectif principal de cette partie est de vérifier la prévalence et l'activité des RPs chez les jeunes joueurs et de déterminer les principaux facteurs (âge, poste et surclassement des joueurs) influençant cette prévalence. Après la lecture de la littérature, il apparaît difficile d'émettre une hypothèse étayée sur les facteurs influençant la prévalence dans notre population. Ainsi, nous émettons simplement l'hypothèse que les RPs actifs persistent chez une proportion significative de joueurs de football, même après l'âge typiquement associé à leur intégration. Nous postulons aussi que des différences apparaissent selon l'âge des joueurs, avec une présence plus marquée des RPs actifs chez les plus jeunes joueurs. (**Étude n°1 : étude publiée dans le journal *Frontiers : in Sports and Active Living***).

2. **Validation intra-inter évaluateur de l'échelle subjective :** Bien que l'échelle subjective développée par l'INPP soit largement utilisée pour évaluer les RPs dans divers contextes dont la recherche scientifique dans une population d'enfant (4 à 8 ans), sa répétabilité ou sa reproductibilité n'ont pas été établies. L'utilisation de cette échelle soulève ainsi des questions quant à la fiabilité des résultats obtenus, tant au niveau intra-évaluateur (cohérence des évaluations réalisées par un même évaluateur) qu'au niveau inter-évaluateur (cohérence des évaluations entre différents évaluateurs). Nous avons émis l'hypothèse que l'échelle subjective de l'INPP pourrait fournir une évaluation à la fois reproductible et répétable de l'activité des RPs, y compris dans une population plus âgée que celle habituellement étudiée. (**Étude soumise dans *Measurement in Physical Education and Exercise Science***).
3. **Activité des RPs et mouvement involontaire :** Dans le cadre de cette étude, nous avons mis en place un protocole visant à déterminer si, lors des tests athlétiques tels que le contre-mouvement jump (CMJ), le drop jump (DJ) et la course, des mouvements involontaires similaires à ceux déclenchés par des RPs actifs pouvaient être observés pendant l'exécution des tâches. La problématique réside dans le fait que l'évaluation traditionnelle des RPs est souvent longue et complexe. Cependant, l'observation de mouvements involontaires lors de tests physiques standardisés pourrait offrir une méthode de terrain pour potentiellement détecter l'activité des RPs dans le monde du sport. L'hypothèse de cette étude est que ces mouvements involontaires, similaires à ceux générés par des RPs actifs, pourraient être repérables lors des tests et indiquer une activité possible des RPs, signalant ainsi des dysfonctionnements au niveau de leur intégration par le système nerveux central. (**Étude en cours d'écriture**).

6.2 Phase d'observation

Cette deuxième phase de recherche correspond aux problématiques de recherche liées à la pratique et de l'impact négatifs des RPs dans trois aspects de la performance.

1. **Santé des joueurs (blessure et alerte médicale) :** Dans le football, les stratégies de suivi des athlètes et de prévention des blessures visent à optimiser la performance et à réduire le nombre de blessures, en s'appuyant sur des indicateurs subjectifs et objectifs, ainsi que sur des tests physiques réguliers. Les études montrent que le taux de blessures diminue, mais reste malgré tout élevé et que les blessures récurrentes persistent, notamment au niveau professionnel (Ekstrand et al., 2021). Les mouvements involontaires induits par des RPs actifs pourraient créer des situations favorables aux

blessures, en perturbant la coordination motrice et en augmentant les risques lors d'actions à haute intensité (voir. partie introduction générale partie 4.5). Ainsi, nos hypothèses sont que :

- Les joueurs présentant des RPs actifs sont plus susceptibles de subir des blessures au cours de la saison.
- Le nombre de jours d'absence est plus long pour les joueurs ayant des RPs actifs.
- Le niveau des alertes est plus élevé chez les joueurs ayant des RPs actifs.

(Étude en préparation)

2. Les compétences athlétiques : La problématique vise à déterminer si, dans un environnement contrôlé utilisant des tests spécifiques (comme les sauts verticaux, les mesures de force isométrique, et les courses continues), des différences significatives apparaissent dans les résultats des performances athlétiques entre les joueurs présentant des RPs actifs et ceux dont les RPs sont intégrés. L'objectif est de vérifier l'impact potentiel des RPs actifs sur les résultats obtenus dans des conditions standardisées. Nous émettons l'hypothèse que la présence de RPs actifs chez les joueurs diminue leurs compétences athlétiques en ayant des résultats significativement plus faibles que les joueurs sans RPs actifs.
3. Les compétences tactiques et techniques : Une seule étude explorée l'impact des RPs actifs sur la performance sportive, mais des résultats préliminaires suggèrent que leur présence pourrait diminuer l'efficacité des gestes techniques et la qualité des compétences, comme observé chez de jeunes nageurs (Bogdanoviča & Lāriņš, 2020). Ces résultats soulignent la nécessité d'examiner plus en profondeur l'influence des RPs dans d'autres sports, notamment dans le football, où les exigences motrices sont complexes et intenses. Notre étude a pour objectif d'évaluer l'effet des RPs actifs sur les performances footballistiques, en particulier sous des contraintes spatio-temporelles sévères. L'objectif principal est de déterminer si la présence de RPs actifs peut altérer la performance des joueurs lors des situations de jeu réelles, où la rapidité de décision et la précision technique sont cruciales. Nous avons testé l'hypothèse selon laquelle les joueurs présentant des RPs actifs auraient des compétences technicotactiques inférieures lors des matchs. **(Étude n°3 publié dans le *Journal sports and sciences*).**

Méthodologie générale

1 Population générale et traitement statistique

Pour un souci de clarté dans la présentation de nos résultats, nous avons fait le choix de regrouper et de présenter les méthodologies de toutes les études réalisées dans une seule et même partie. Ce choix permet une vision globale et cohérente des protocoles utilisés, tout en facilitant la compréhension des différentes approches méthodologiques adoptées au cours de nos travaux.

1.1 Population

La population des études faites dans le cadre de ces recherches se compose de footballeurs évoluant dans un centre de formation, âgés de 15 à 23 ans, suivis sur une période de trois saisons sportives consécutives. Les critères d'inclusion ont été définis pour garantir l'homogénéité du groupe, comprenant des joueurs engagés dans une pratique régulière, sans antécédents récents de blessures graves (moins de six mois) ni contre-indications médicales à l'effort physique. L'ensemble des participants a été informé des objectifs de l'étude, et un consentement éclairé a été obtenu conformément aux principes éthiques en vigueur. Cette population a permis d'obtenir un échantillon représentatif des jeunes athlètes en formation, offrant une base solide pour l'analyse de l'activité des RPs et de leur prévalence, leur activité et leur impact sur la santé et les performances sportives. Les données anthropométriques de base (âge, taille, poids) ont été collectées afin de caractériser le groupe et de vérifier l'homogénéité des participants.

1.2 Traitement statistique

Les données ont été traitées à l'aide de logiciels spécialisés (Python ou R), suivant une méthodologie rigoureuse. Une première étape descriptive a permis de caractériser la population et les résultats des évaluations, notamment par le calcul des moyennes, des écarts-types et des médianes. La normalité des distributions a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. En cas de non-normalité, des tests non paramétriques (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U) ont été appliqués.

- La distribution des RPs en fonction du surclassement, du poste de jeu et de l'année de naissance a été analysée à l'aide du Fisher's Exact Test afin de détecter des relations significatives entre ces variables.
- La fiabilité des évaluations a été déterminée à l'aide des coefficients de corrélation intra-classe (ICC), évaluant à la fois la répétabilité intra-évaluateur et la reproductibilité inter-évaluateur.

Les ICC ont été interprétés selon les seuils standards : faibles ($<0,50$), modérés ($0,50-0,75$), bons ($0,75-0,90$) et excellents ($\geq 0,90$) (Koo & Li, 2016). Les coefficients de variation (CV) ont également été calculés pour évaluer la dispersion des données et compléter l'analyse de fiabilité.

- Les variables de match ont été analysées à partir des données brutes collectées, en calculant le rapport des réussites aux tentatives pour chaque compétence et chaque joueur. Ces données ont ensuite été normalisées sur une base de 100 minutes de temps de jeu. Les comparaisons entre groupes (RPs actifs vs inactifs) ont été réalisées en utilisant le coefficient d'effet de Cohen et des tests t indépendants, après avoir vérifié l'absence de corrélations significatives entre l'âge et les performances.

Un seuil de significativité statistique a été fixé à $p < 0,05$, et les résultats ont été interprétés dans un intervalle de confiance de 95 %.

2 Phase Préliminaire

2.1 Évaluation des réflexes primitifs

La méthodologie utilisée pour évaluer le niveau d'activité des RPs a été appliquée dans tous les protocoles expérimentaux de cette thèse. Tous les joueurs ont été testés par le même opérateur chaque saison, suivant l'échelle de notation d'écrite dans la méthodologie de **PINPP** (*institute for neurophysiological psychology*) (Goddard Blythe, 2015). Le RP se teste en réalisant une action sur le sujet et en observant les mouvements involontaires que cette action a produit sur lui. Les RPs ont été notés sur une échelle allant de 0 à 4 (par incréments de 1) en fonction de l'observation. Un score de 0 indique l'absence totale de mouvement involontaire en réponse aux stimuli pendant le test, tandis qu'un score de 4 indique le niveau maximal d'activité des RPs en réponse aux stimuli. Certains sont ont deux composantes (gauche et droite ou flexion et extension) et d'autre une seule. Tous les tests ont été fait deux fois de suite pour trois RPs : RTAC, RTSC et RTL, seul le RM a été testé une seule fois.

2.2 Protocole d'évaluation

2.2.1 Le Réflexe Tonique Asymétrique du Cou (RTAC)

Le RTAC a été évalué debout (figure 14), les pieds joints, les bras en avant et relâché à hauteur des épaules, les yeux fermés, les poignets fléchis et les mains détendues. Le test consiste en une rotation de la tête des deux côtés induits par l'évaluateur. Le mouvement est continu avec une pause de 5 à 10 secondes à la fin de chaque rotation et en position neutre. Avant de commencer, l'évaluateur doit informer le participant qu'il devait garder les bras vers l'avant sans bouger. Le mouvement involontaire est évalué en fonction des mouvements des bras (Tableau 4).



Figure 14 Représentation du test du RTAC

Tableau 4 Échelle de notation de l'activité du réflexe tonique asymétrique du cou

Réflexe tonique asymétrique du cou (RTAC) <u>Positions :</u> droite/gauche	Échelle de notation INPP
	0. Aucun mouvement des bras en réponse à la rotation de la tête.
	1. Légère déviation du ou des bras jusqu'à 12–15° dans la direction de la tête.
	2. Rotation 30° des bras.
	3. Rotation des bras à 45°.
	4. Rotation à 90° des bras.

2.2.2 Le Réflexe Tonique Symétrique du Cou (RTSC)

Le RTSC a été testé en position quadrupède avec mains sous les épaules et genoux sous les hanches (figure 15). L'instruction pour le participant est de maintenir la position quadrupède pendant le mouvement de la tête lors de la flexion (SNTR flexion) ou de l'extension (RTSC EXT). Le mouvement est continu avec une pause de 5 secondes à chaque extrémité du mouvement (c'est-à-dire l'extension et la flexion de la tête). Le mouvement involontaire est évalué dans la fonction des tremblements dans un ou les deux bras ou les mouvements de la hanche, la flexion des bras due à la flexion de la tête ou la cambrure du dos (Tableau 5).

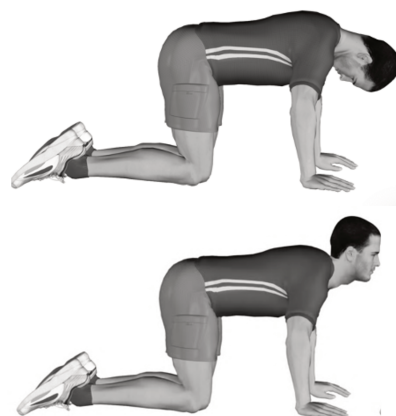


Figure 15 Représentation du test du RTSC

Tableau 5 Échelle de notation de l'activité du réflexe tonique symétrique du cou

	Échelle de notation INPP
Réflexe tonique symétrique du cou en extension (RTSC EXT)	0. Pas de réponse.
	1. Léger mouvement des hanches (flexion dans le bas du corps).
	2. Petit mouvement dans les hanches.
	3. Mouvement certain dans les hanches.
	4. Mouvement des fesses vers sur les chevilles pour que l'enfant soit en position de « chat assis ».
Flexion réflexe tonique symétrique du cou en flexion (RTSC flexion)	0. Pas de réponse.
	1. Tremblement dans un bras ou les deux en réponse à la flexion de la tête.
	2. Légère flexion des coudes.
	3. Fléchissement définitif des bras à la suite d'une flexion de la tête et/ou d'une élévation des pieds.
	4. Les bras s'effondrent lorsque la tête est fléchie.

2.2.3 Réflexe de Moro

Le RM est testé debout, les pieds joints, les bras en avant à hauteur des épaules, les yeux fermés, les poignets fléchis, les mains détendues et la tête en arrière. Après avoir clairement expliqué le test et demandé au participant s'il était prêt, le sujet a été invité à tomber en arrière dans les mains du praticien (figure 16). Le mouvement involontaire est évalué dans la fonction de l'abduction des bras ou de la détresse pendant le test (tableau 6).



Figure 16 Représentation du test du RM

Tableau 6 Échelle de notation de l'activité du réflexe de Moro

Réflexe de Moro (RM)	Échelle de notation INPP
	0. Aucun mouvement des bras et aucun signe de détresse ou d'inconfort.
	1. Mouvement fractionnel des bras vers l'extérieur (abduction) ou gel momentané.
	2. Implication certaine du bras et légère réaction de gel et/ou signes d'inconfort émotionnel après la procédure de test.
	3. Abduction partielle des bras et aversion pour la procédure d'essai.
	4. Abduction des bras et/ou visiblement angoissé par le test.

2.2.4 Réflexe tonique labyrinthique

Le RTL a été testé en position debout, les pieds joints et les yeux fermés (figure 17). Le test a été réalisé à la suite de deux manipulations. La première consistait en une extension de la tête (RTL EXT) et la seconde en flexion (RTL flexion) de la tête. Le mouvement est continu avec une pause de 5 secondes à chaque extrémité du mouvement (c'est-à-dire l'extension et la flexion de la tête). Le mouvement involontaire est évalué en fonction de la perte de l'équilibre (tableau 7).

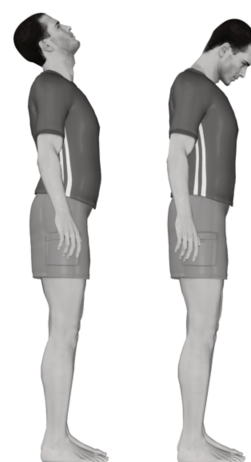


Figure 17 Représentation du test du RTL

Tableau 7 Échelle de notation de l'activité du Réflexe tonique labyrinthique

Réflexe tonique labyrinthique en extension (RTL EXT) et en flexion (RTL flexion)	Échelle de notation INPP
	0. Pas de réponse.
	1. Légère altération de l'équilibre et du tonus musculaire à la suite d'un changement de position de la tête.
	2. Altération du contrôle de l'équilibre pendant le test et/ou altération du tonus musculaire.
	3. Quasi-perte d'équilibre et/ou altération du tonus musculaire et/ou désorientation à la suite de la procédure d'essai.
	4. Perte d'équilibre et/ou ajustement marqué du tonus musculaire dans le but de stabiliser l'équilibre. Cela peut s'accompagner d'étourdissements ou de nausées.

2.2.5 Classification de l'activité des réflexes primitifs

Pour la classification de l'activité des RPs, nous avons choisi deux modalités différentes en fonctions des objectifs des études (tableau 8). La référence à ces méthodologies seront indiquées sous la forme "voir Méthodologie générale, p. 2.1" dans les chapitres suivants.

- Classification par score global (SG) : Les participants ont été repartis en fonction du score global (SG) qui a été calculé en additionnant les scores de chaque test de chaque RPs. Les SG reflètent le pourcentage d'activation des RPs, avec la répartition suivante : 0 – 2 = aucune activité (<5 % d'activation), 3 – 7 = faible activité (5 à 25 % d'activation), 8 – 13 = activité moyenne (25 à 50 % d'activation), 14 – 21 = activité élevée (50 à 75 % d'activation), et 22 – 28 = activité maximale (75 à 100 % d'activation) des RPs.
- Classification de l'activité globale : Les participants ont été classés en deux groupes en fonction de l'activité des RPs : le groupe des RPs intégrés, avec un SG nul ou une activité du RPs notée 0, et le groupe des RPs actifs, avec un SG "faible" ou supérieur, ou une activité notée 1 ou plus lors de l'évaluation.

Tableau 8 Classification des groupes par activité des réflexes primitifs et score global

Score Global	Activité globale	Échelle des scores d'activité	Sommes des activités des RPs	Activité des RPs (%)
Pas d'activité	RPs intégrés	0	0-2	≤ 7 (Aucune activité anormale)
Faible	RPs actifs	1	3-7	8 - 25%
Moyen		2	8-13	25 - 50%
Élevé		3	14-20	50 - 75%
Maximal		4	21-28	75 - 100%

2.3 Évaluation des mouvements involontaires et tâches motrices simples

Pour chacun de ces tests, des enregistrements vidéo ont été effectués, permettant une analyse ultérieure des critères d'observation décrits ci-dessous. Ces vidéos ont été utilisées pour observer et identifier des mouvements involontaires ou atypiques, reconnaissables et similaire à l'activité des RPs. La référence à ces méthodologies seront indiquées sous la forme (voir Méthodologie générale, p. 2.3) dans les chapitres suivants.

2.3.1 Choix des tests et des critères d'observation

Les tests athlétiques en salle, comprenant le contre-mouvement jump (CMJ) et le drop jump (DJ), ont été décrits dans la partie suivante (Méthodologie générale, p. 3). Les sauts utilisés et filmés pour ce protocole étaient le premier essai, indépendamment des résultats. Le test de course a été réalisé sur tapis. Le temps de course a été de 5 minutes à vitesse constante de 12km/h. La séquence d'observation pour la notation était de la minute 3 à 5. Les Critères d'observation des mouvements ont été établis en se basant sur les connaissances des RPs et les réponses des mouvements involontaires induits s'ils sont actifs : déséquilibres et décalages (sagittal ou frontal), hyperextension et flexion (corps ou tête), réactions complexes et comportements de détresse. Elles ont été notées selon trois niveaux : Oui/mouvement net, un peu/léger à notable et non/aucun.

2.3.2 Critère d'observation des sauts

- Abduction des bras (perte de contrôle pendant le saut)
- Déséquilibre arrière (à la réception du saut)
- Stress sur le test et hésitation
- Réception avec décalage à gauche
- Réception avec décalage à droite
- Hyperextension pendant le saut
- Flexion du tronc pendant le saut
- Flexion incontrôlée des genoux (phase aérienne)
- Extension des jambes + flexion du tronc : pieds et épaules en avant du tronc (phase aérienne)
- Extension de la tête pendant le saut
- Flexion de la tête pendant le saut

2.3.3 Critère d'observation de la course

- Déséquilibre avant
- Déséquilibre arrière
- Course en « zig-zag »
- Décalage vers la gauche
- Décalage vers la droite
- Hyperextension du corps pendant la course
- Flexion du tronc pendant la course
- Pouces en l'air pendant la course
- Extension de la tête pendant la course
- Flexion de la tête pendant la course

3 Phase d'observation

Durant la phase d'observation les références à ces méthodologies seront indiquées sous la forme "voir ch. Méthodologie générale, p. 3" dans les chapitres suivants.

3.1 Santé des joueurs

Dans cette partie des recherches nous avons choisis de mesurer les variables suivantes : les blessures, les durées de réhabilitation et enfin les alertes médicales et athlétiques.

3.1.1 Les blessures

Les blessures ont été renseignées par le médecin du centre de formation sans avoir connaissance des niveaux d'activité des RPs des joueurs. La définition choisie pour renseigner et catégoriser la blessure était celle de Fuller et al. qui « *caractérise la blessure comme toute plainte physique par un joueur, résultant d'un match ou d'un entraînement de football et, à l'origine d'une incapacité du joueur à prendre part à l'entraînement suivant* » (Fuller et al., 2006). Le niveau de gravité a également été établi selon les standards utilisés dans la littérature (Fuller et al., 2006), qui sont : minime (1 à 3 jours d'absence), légère (4 à 7 jours d'absence), modérée (8 à 28 jours d'absence), et sévère (plus de 28 jours d'absence). Enfin, la catégorisation des blessures a été également faite par la localisation anatomique, le type et l'environnement dans lequel est arrivé la blessure.

3.1.2 Les durées de réhabilitation

Les étapes de réhabilitation ont été classées en trois catégories, selon le nombre de jours passés dans chaque phase avant de progresser vers la suivante :

1. **Réhabilitation avec le kinésithérapeute** : suivi et rééducation avec des exercices spécifiques sous la supervision d'un kinésithérapeute.
2. **Réhabilitation avec le préparateur physique** : travail de conditionnement physique et technique avec un préparateur physique.
3. **Retour à l'entraînement** : date de reprise ou le joueur est capable de réaliser l'intégralité de la séance et de la charge induite par l'entraînement.

Nous avons également indiqué lors du processus de réhabilitation le nombre de jours de soin nécessaire avant la reprise de la course à pied.

3.1.3 Les alertes médicales et athlétiques

Les alertes médicales et athlétiques ont été renseignées par l'ensemble des membres du département performance, qui inclut trois préparateurs physiques et le personnel médical composé de quatre kinésithérapeutes et d'un médecin ainsi que les membres des staffs techniques. Dès qu'un membre du département exprimait une inquiétude, qu'elle soit liée à une plainte physique, mentale, nutritionnelle, ou autre, il était tenu de la signaler et d'évaluer son niveau de gravité sur une échelle de 1 à 3 (1 = niveau le plus bas à 3 = niveau le plus élevé).

3.2 Protocoles des tests athlétiques utilisés

3.2.1 Les tests d'endurance

Pour évaluer l'endurance des athlètes, nous avons choisi deux tests complémentaires : le Test Vameval (Leger & Boucher, 1980) et le Test Yo-Yo Intermittent (Schmitz et al., 2018). Le test Vameval pour mesurer la Vitesse Maximale Aérobie (VMA) des joueurs. Ce test a été réalisé sur une piste d'athlétisme standard, en suivant un protocole strict dicté par une piste audio. Les participants ont commencé à une vitesse de 8 km/h, avec une augmentation progressive de la vitesse à chaque palier de 0,5 km/h. Le test a continué jusqu'à ce que les joueurs ne puissent plus maintenir le rythme imposé par la bande sonore sur deux marque consécutives (40 mètres) déterminant ainsi leur VMA. Le deuxième test utilisé pour évaluer la capacité des joueurs à répéter des efforts de haute intensité, nous avons opté pour le test Yo-Yo Intermittent de récupération niveau 1 (IRTL 1). Les joueurs ont effectué des allers-retours sur une distance de 20 mètres, en suivant un rythme croissant dicté par une bande sonore. Le test s'est terminé lorsque les joueurs n'ont plus pu maintenir le rythme sur deux allers-retours consécutifs.

3.2.2 Les tests de saut : contre mouvement jump et drop jump.

L'évaluation de la hauteur de saut du Contre mouvement jump (CMJ) et le Reactive Strength Index (RSI) Drop jump (DJ) ont été effectués sur des plateformes de force ForceDecks® après un échauffement général de 15 minutes, identique pour tous les joueurs (Collings et al., 2024). Deux essais

ont été réalisés par les joueurs avec quelque seconde entre les deux. Le meilleur résultat entre les deux sauts a été gardé. Le CMJ correspond à un saut vertical précédé d'une flexion des genoux, sans arrêt lors de la descente, tandis que le DJ consiste en un saut vertical après une chute d'une hauteur de 35 cm, suivi immédiatement d'une impulsion sans pause entre l'atterrissage et le saut. Pour les deux sauts (CMJ + DJ) les joueurs avaient pour consigne de garder les mains sur les hanches tout le long du test.

3.2.3 Test d'asymétrie de la force des ischiojambiers et des adducteurs/abducteurs

Les asymétries ont été mesurées à partir de la différence de force maximale en isométrie produite pendant les tests des ischiojambiers, des adducteurs et des abducteurs (Ferguson et al., 2024). Les asymétries de force entre jambe gauche et jambe droite ont été aussi calculées lors du CMJ et du DJ (voir partie précédente). Pour les deux tests, un échauffement général de 15 minutes identique pour tous les joueurs a été fait. Puis, deux répétitions sous maximale ont été faites avant le test réel sur les machines et un seul essai a été réalisé par les joueurs.

Nous avons utilisé le Nordbord® pour mesurer l'asymétrie de la force excentrique des ischiojambiers. Le protocole consistait à ce que le joueur se positionne à genou sur l'appareil, les chevilles placées sous des capteurs, et effectue une contraction excentrique maximale des ischiojambiers en tentant de ralentir la descente du buste le plus lentement possible et en gardant l'alignement genoux, hanches et épaules.

Pour les tests des adducteurs et des abducteurs, les joueurs étaient allongés sur le dos, avec les capteurs du ForceDecks® placés au niveau des malléoles. Pour le test des adducteurs, les joueurs devaient rapprocher les jambes l'une de l'autre en exerçant une contraction maximale des adducteurs pendant 5 secondes. Pour le test des abducteurs, les sujets devaient éloigner les jambes l'une de l'autre en exerçant une contraction maximale des muscles abducteurs pendant 5 secondes.

3.2.4 Les tests de vitesse

Les tests de vitesse ont été réalisés le même jour, après un échauffement général de 20 minutes, identique pour tous les joueurs. Chaque athlète a effectué deux passages pour chaque distance, à savoir 10 mètres et 30 mètres. Les temps de passage ont été mesurés à l'aide de cellule photoélectriques (Multhaupt et al., 2023). Le départ était arrêté pour les deux distances, avec un départ au coup de sifflet. Le meilleur temps des deux tentatives a été retenu. Une période de récupération de 4 minutes a été respectée entre chaque passage pour garantir des conditions optimales de performance.

3.3 Protocoles des mesures des compétences technico-tactiques

Les compétences ont été catégorisées selon les postes de jeu pour préserver l'intégrité des dynamiques du jeu pour certaines compétences et de respecter les différents rôles et responsabilités associés à chaque poste sur le terrain. Pour toutes les positions, les compétences enregistrées incluaient les fautes, les duels

au sol et les duels aériens. Pour les actions défensives et les passes dans la zone d'attraction, nous avons inclus les milieux défensifs et offensifs, les latéraux et les défenseurs centraux. Pour les passes dans la zone de déséquilibre et les passes dans la zone de finition, nous avons inclus les milieux défensifs et offensifs, les latéraux, les excentrés et les attaquants. Tous les matchs ont été joués à domicile. Ces matchs ont été filmés et analysés par un des trois analystes vidéo du centre de formation, qui ont évalué aléatoirement les trois équipes sans connaissance des résultats des tests des RPs. Les compétences observées ont été classées en CTa et CTe.

Les CTa ont été classés en fonction des passes effectuées dans différentes zones du terrain et de la récupération ou non du ballon lors des transitions défensives (Caicedo-Parada et al., 2020; Héros, 2022). Toutes les passes effectuées lors des matchs ont été enregistrées et classées comme réussies ou échouées. La conservation de la possession du ballon était considérée comme une réussite, tandis que la perte de possession était considérée comme un échec. Nous avons déterminé trois zones distinctes du terrain : la zone d'attraction (ZA), située devant les milieux de terrain adverses ; la zone de déséquilibre (ZD), située entre les milieux de terrain et les défenseurs adverses ; et la zone de finition (ZF), située derrière la ligne défensive adverse. La passe a été comptabilisée en fonction de la zone où se trouvait le joueur qui l'effectuait. Cette dernière pouvait être réalisée soit à l'intérieur de la même zone, soit en direction d'une autre zone du terrain. Le succès des actions défensives a été défini comme "récupérer le ballon ou fermer une ligne de passe, empêchant ainsi la progression du ballon". L'échec quant à lui, a été défini comme "ne pas intercepter le ballon ou ne pas fermer une ligne de passe, facilitant ainsi la progression du ballon".

Les CTe comprenaient les duels au sol et les duels aériens, enregistrés en fonction de leurs réussites et échecs (Kraynik et al., 2019). Les duels au sol comprenaient les duels pour récupérer le ballon en contact direct avec l'adversaire et les tacles. La réussite était définie par la récupération de la possession. Les duels aériens comprenaient tous les 1v1 se jouant dans les airs. La réussite était définie par la récupération de la possession du ballon par le joueur ou par la déviation du ballon à un partenaire. Les sorties du ballon hors des zones du terrain étaient considérées comme perdues, sauf lors des CPA défensifs ou des situations de danger de but immédiat. Les fautes qui ont été commises par les joueurs sifflées par l'arbitre durant les matchs ont été également enregistrées.

Résultats phase préliminaire

1 Niveau d'activité et prévalence des réflexes primitifs

1.1 Objectifs et procédures

Les objectifs de cette première expérimentation étaient 1) d'évaluer la distribution et le niveau d'activité des RPs dans une population de joueurs de football et 2) d'identifier les groupes (âge, poste, surclassement) les plus susceptibles de présenter une activité persistante de ces RPs, afin de mieux comprendre leur distribution dans cette population. Sa publication a été acceptée en juin 2024. La version complète de l'étude est disponible à la fin du manuscrit section Publication (Étude n°1 : étude publiée dans le journal *Frontiers : in Sports and Active Living*). Nous avons observé la prévalence et l'activité des RPs de la population générale ($n = 69$; âge $17,0 \pm 1,5$ an ; poids $69,6 \pm 8,0$ kg ; taille $179,0 \pm 6,9$ cm). Les participants ont été regroupé selon 3 critères : l'année de naissance (tableau 9), 2) le poste de jeu (tableau 10), et 3) le surclassement ou non d'un participant dans la catégorie supérieur (tableau 11).

Tableau 9 Distribution des joueurs selon leurs années de naissance

Année de naissance	Nombre de joueurs	Poids (kg)	Taille (cm)
2001	6	$78,8 \pm 7,3$	$182,7 \pm 9,8$
2002	5	$66,5 \pm 3,5$	$182,9 \pm 5,2$
2003	15	$70,6 \pm 7,8$	$179,5 \pm 6,4$
2004	19	$71,0 \pm 7,3$	$178,3 \pm 7,0$
2005	17	$65,8 \pm 6,2$	$176,5 \pm 7,1$
2006	16	$65,6 \pm 5,6$	$178,2 \pm 5,8$

Tableau 10 Distribution des joueurs selon leurs postes de jeu

Position	Nombre de joueurs	Âge (ans)	Poids (kg)	Taille (cm)
Gardien de but	10	$17,0 \pm 1,4$	$75,9 \pm 7,1$	$182,8 \pm 8,7$
Défenseur central	16	$16,9 \pm 1,2$	$72,0 \pm 3,6$	$182,9 \pm 5,2$
Latéral	8	$16,8 \pm 1,6$	$71,2 \pm 3,8$	$177,5 \pm 6,1$
Milieu de terrain	18	$16,9 \pm 1,9$	$63,9 \pm 2,4$	$175,4 \pm 2,7$
Excentré	12	$17,0 \pm 1,8$	$71,0 \pm 1,6$	$176,1 \pm 7,1$
Attaquant	5	$16,7 \pm 1,8$	$68,0 \pm 7,1$	$180,1 \pm 4,7$

Tableau 11 Distribution des joueurs selon les groupes de sur classements

Groupe	Nombre de joueurs	Âge (ans)	Poids (kg)	Taille (cm)
Non surclassé	47	17,3 ± 1,6	71,9 ± 7,3	179,6 ± 6,9
Surclassé	22	16,4 ± 1,1	65,3 ± 5,5	177,6 ± 6,8

1.2 Résultats

1.2.1 Distribution des score globales

Les résultats ont montré que 42 joueurs avaient un SG faible (60,9%), 5 avaient un SG moyen (7,2%) et 22 joueurs de football avaient un SG pas d'activité (31,9%) (figure 18). Aucun joueur de football n'a eu un SG supérieur à moyen (c'est-à-dire élevé et maximal).

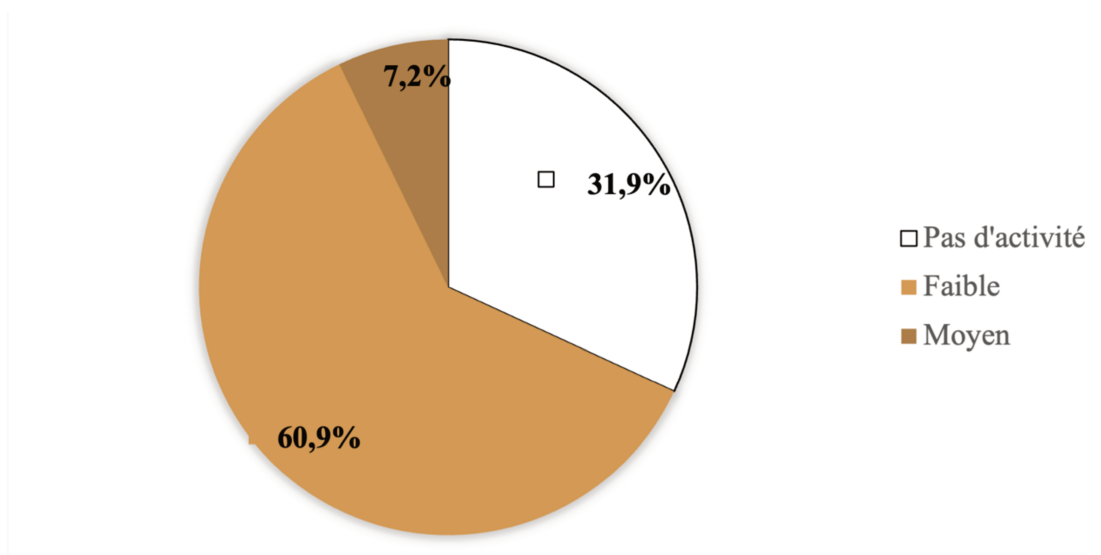


Figure 18 Distribution du score global des joueurs de football

1.2.2 Distribution des niveaux d'activité des réflexes primitifs

Les joueurs de football avec un SG égal ou supérieur à faible avaient en moyenne 2 RPs actifs (tableau 12). De plus, 81,2 % des joueurs de football ont démontré au moins un RPs actif, et 23,0 % ont eu plus de 2 RPs actifs.

Tableau 12 Distribution des niveaux d'activité des réflexes primitifs

PRs	Score des activités des RPs				
	N % PRs intégré	N % PRs faible	N % PRs moyen	N % PRs élevé	N % PRs maximal
RTAC D	54 75,4%	13 21,7%	2 2,9%	0 0,0%	0 0,0%
RTAC G	49 71,0%	12 18,8%	6 10,1%	0 0,0%	0 0,0%
RTSC EXT	65 94,2%	4 5,8%	0 0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%
RTSC flexion	60 86,9%	8 11,6%	0 0,0%	1 1,4%	0 0,0%
RM	49 71,0%	10 14,5%	6 8,7%	2 2,9%	2 2,9%
RTL flexion	42 60,9%	15 21,7%	9 13,0%	3 4,3%	0 0,0%
RTL EXT	31 44,9%	20 29,0%	16 23,2%	2 2,9%	0 0,0%

La répartition des scores était différente entre les RPs testés : quatre des joueurs de football ont obtenu un score de 3 (RM 2,9 % ; RTL EXT 2,9 % ; RTL flexion 4,3 % ; RTSC flexion 1,4%), et seulement deux joueurs de football (2,9%) ont obtenu le score maximum de 4 dans le RM. Le RTL EXT a été observé (tous scores confondus) chez 55,1 % des joueurs de football et était le RPs persistant le plus observé, tandis que le RTSC EXT était le RPs le moins observé avec 5,8 % des joueurs de football.

1.2.3 Scores globaux : position du joueur et âge de naissance

Aucune différence significative n'a été observée en ce qui concerne les positions de jeu des joueurs ($p=0,9$) dans les niveaux d'activités globales des RPs . A noter que pour 50% des postes, des joueurs ont été testés avec un SG égal à moyen (figure 19).

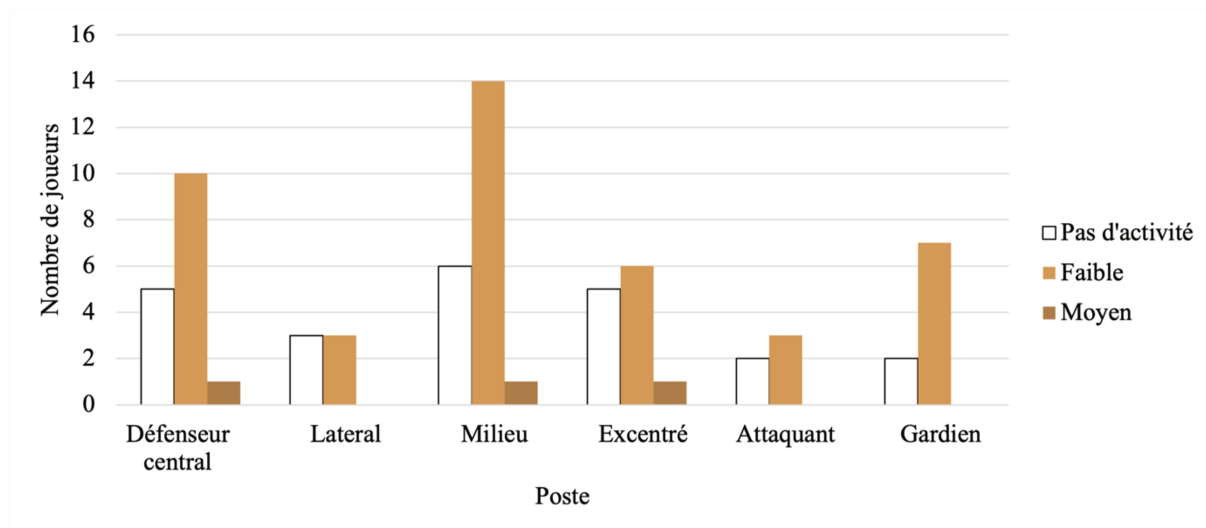


Figure 19 Distribution du score global des joueurs de football en fonction de leurs postes.

De la même façon, aucune différence significative ($p=0,4$) n'a été observée en ce qui concerne l'âge des joueurs (figure 20). Sur cette tranche d'âge étudiée, 4 des 6 générations ont été testées avec des SG égal à moyen.

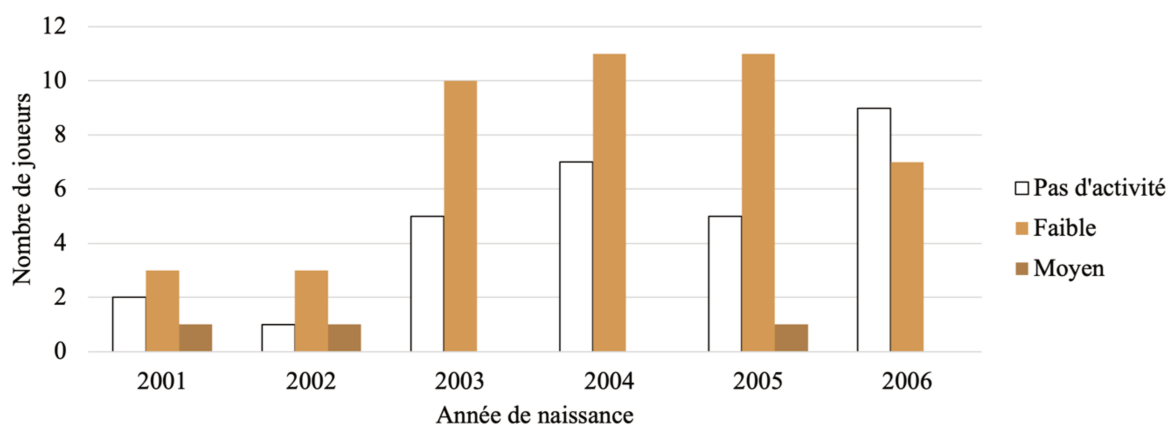


Figure 20 Distribution du score global des joueurs de football en fonction de leurs années de naissances

1.2.4 Scores globaux et surclassement des joueurs

Le tableau 13 montre la répartition de l'équipe de football dans les deux groupes de joueurs de football promus et non promus. La proportion de joueurs ayant obtenu un SG nul était significativement plus élevée chez les joueurs non surclassés ($n = 20$) que chez les joueurs améliorés ($n = 2$) ($p < 0,05$). À l'inverse, les proportions de joueurs ayant un faible SG n'ont pas montré de différences significatives entre les joueurs ayant obtenu un niveau supérieur ou non ($p < 0,05$). Parmi les joueurs testés avec un SG moyen, la proportion de joueurs non améliorés était significativement plus faible ($n=1$) que les joueurs améliorés ($n=4$) ($p < 0,05$).

Tableau 13 Répartition du score global par rapport aux joueurs de football surclassés.

Score global	Joueurs non surclassés (n)	Joueurs surclassés (n)
Pas d'activité	42,6% (20)	9,1%* (2)
Faible	55,3% (26)	72,7% (16)
Moyen	2,1% (1)	18,2%* (4)
Élevé	0,0% (0)	0,0% (0)
Maximal	0,0% (0)	0,0% (0)

***Indique une différence significative entre les joueurs de football surclassés et non surclassés ($p < 0,02$)**

1.3 Points clés

Cette étude a permis de mettre en lumière l'activité des RPs dans une population âgée de 15 à 23 ans pratiquant une discipline sportive de haut niveau. Bien que les RPs soient normalement considérés comme transitoires et censés s'intégrer et disparaître au cours du développement neurologique normal (Illingworth, 1987), nos résultats valident l'hypothèse selon laquelle ces RPs peuvent rester actifs, même chez des individus neurologiquement sains et engagés dans des activités sportives exigeantes.

Prévalence des RPs :

- 81,2 % des joueurs présentent au moins un RP actif, un chiffre qui illustre une persistance des RPs à l'âge adulte, malgré une intégration progressive liée à la maturité et à la pratique sportive de haut niveau.
- Comparé à la littérature, notre population sportive montre une intégration plus avancée des RPs (environ 30 % d'intégration complète) par rapport à une population d'enfants en bonne santé (<10 %, Pecuch et al., 2021).
- Les niveaux d'activité diffèrent selon les RPs : par exemple, le RTSC EXT est actif chez seulement 5,7 % des joueurs, tandis que le RTL EXT l'est chez 54,3 %.
- La position de jeu et les groupes générationnels n'ont pas influencé significativement la répartition des RPs actifs.

Observation spécifique chez les joueurs surclassés :

- Les joueurs surclassés (évoluant dans une catégorie supérieure à leur âge) montrent un nombre significativement plus élevé de RPs actifs (SG moyen, 25-50 %). Cela pourrait s'expliquer par des défis émotionnels ou sociaux liés à l'écart de développement moteur, technique et social.
- Le RM est actif uniquement au niveau maximal dans cette population. A noter également qu'il est généralement associé à des troubles émotionnels (Niklasson & Niklasson, 2022).

2 Validation intra-inter évaluateur de l'échelle subjective de l'INPP

2.1 Objectifs et procédures

L'objectif était de tester la fiabilité de l'échelle subjective développée par l'INPP pour évaluer l'activité des RPs tant au niveau intra-évaluateur (cohérence des évaluations réalisées par un même évaluateur) qu'au niveau inter-évaluateur (cohérence entre différents évaluateurs). Mais aussi, de s'assurer que cette échelle peut être utilisée de manière reproductible par différents professionnels, qu'ils soient experts ou novices, dans un contexte sportif. Nous avons utilisé la même population que pour l'étude précédente, soit 69 joueurs de football de l'académie (âgés de $17,0 \pm 1,5$ an ; poids $69,6 \pm 8,0$ kg ; taille $179,0 \pm 6,9$ cm). La fiabilité intra-évaluateur a été déterminée à travers trois sessions de test effectuées à des intervalles de trois mois sur une période de six mois. Tous les joueurs ont été évalués pendant leurs jours de repos désignés au sein de la semaine d'entraînement. La fiabilité inter-évaluateurs a été établie grâce à des enregistrements vidéo de la session de test initiale, qui ont été réalisés de manière uniforme, garantissant un placement et un point de vue identiques pour tous les participants. Par la suite, deux examinateurs supplémentaires ont évalué chaque RP en se basant sur l'échelle subjective fournie par l'INPP (cf. Méthodologie générale partie 2).

2.2 Résultats

2.2.1 Résultat intra-observateur

La figure 21 représente la distribution des SG pour les trois essais. Les coefficients de variation (CV) montrent une stabilité globale dans la répartition des individus entre les catégories d'activité. La catégorie "Faible" (4,68%) et "Moyen" (0%) présentent une cohérence remarquable, indiquant une distribution quasi inchangée au fil des essais. En revanche, les catégories "Pas d'activité" (15,75%) et "Élevé" (17,32%) affichent une variabilité modérée.

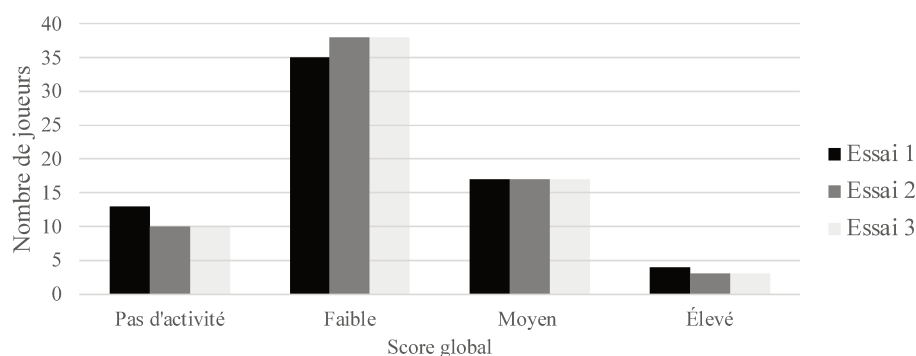


Figure 21 Distribution des scores globaux des joueurs basée sur l'évaluation des niveaux des réflexes primitifs intra-évaluateur.

Les statistiques descriptives et de fiabilité liées aux valeurs des RPs intra-évaluateur sont présentées dans le Tableau 14. Le score global (SG) a montré une excellente fiabilité intra-évaluateur pour les valeurs moyennes. Fait intéressant, l'ICC pour le RTL en extension était plus faible que celui pour le RTL en flexion. De même, bien que montrant une excellente fiabilité intra-évaluateur, l'ICC était plus faible pour le RTSC en extension comparé à la flexion (RTSC extension : ICC = 0,94, IC = [0,91-0,96] ; RTSC flexion : ICC = 0,98, IC = [0,97-0,99]). Le RM a également affiché une excellente fiabilité intra-évaluateur pour les valeurs moyennes. Le RTAC a montré une disparité entre ses positions gauche et droite, avec une excellente fiabilité intra-évaluateur observée pour les valeurs moyennes du RTAC gauche (ICC = 0,93, IC = [0,90-0,96]) et une bonne fiabilité intra-évaluateur pour les valeurs moyennes du RTAC droit (ICC = 0,87, IC = [0,81-0,91]).

Tableau 14 Statistique descriptive et de fiabilité liées aux valeurs des tests INPP inter-évaluateur.

SG et PRs	Score moyen			Δ Score			Statistiques de fiabilités	
	(ET)			(ET)				
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1 - Essai 2	Essai 2 - Essai 3	Essai 1 - Essai 3	ICC [95% CI]	F Test [df1/df2]
Global Score	5,8 (3,7)	5,9 (3,6)	5,8 (3,5)	0 (0,8)	0,1 (0,4)	0,1 (1,0)	0,98 [0,96-0,98]	121 [67/135]
RTAC droit	1 (0,9)	1 (0,9)	1 (0,9)	0 (0,5)	0 (0,2)	0 (0,5)	0,87 [0,81-0,91]	20,8 [69/139]
RTAC gauche	0,8 (0,8)	0,8 (0,8)	0,8 (0,8)	-0,1 (0,3)	0 (0,1)	-0,1 (0,4)	0,93 [0,90-0,96]	45 [68/127]
RTSC extension	0,4 (0,7)	0,5 (0,7)	0,4 (0,7)	0 (0,2)	0 (0,2)	0 (0,3)	0,94 [0,91-0,96]	48,4 [68/138]
RTSC flexion	0,5 (0,9)	0,5 (0,9)	0,5 (0,9)	0 (0,2)	0 (0,1)	0 (0,2)	0,98 [0,97-0,99]	152 [68/137]
RM	0,9 (1,5)	0,8 (1,4)	0,9 (1,4)	0,1 (0,6)	0 (0,1)	0 (0,6)	0,95 [0,92-0,96]	54 [68/138]
RTL extension	1,4 (0,8)	1,4 (0,8)	1,3 (0,8)	0 (0,4)	0,1 (0,3)	0,1 (0,5)	0,86 [0,81-0,91]	20,1 [68/138]
RTL flexion	1 (0,8)	1 (0,8)	1 (0,8)	0 (0,4)	0 (0,2)	0 (0,3)	0,93 [0,90-0,96]	43,1 [68/138]

2.2.2 Résultat inter-observateur

La figure 22 représente la distribution des SG pour les trois évaluateurs. Les CV entre les évaluateurs montrent une variabilité globalement faible à modérée dans la répartition des activités. La catégorie "Élevé" présente un CV de 0%, indiquant une parfaite cohérence entre les évaluateurs. Les catégories "Pas d'activité" (8,45%) et "Faible" (5,68%) affichent une faible variabilité, témoignant d'une bonne concordance. En revanche, la catégorie "Moyen" montre une variabilité plus marquée (14,19%)

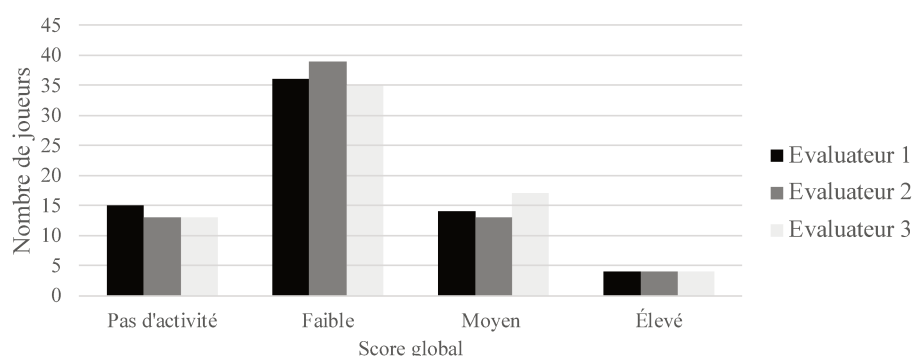


Figure 22 Distribution des scores globaux des joueurs basée sur l'évaluation des niveaux des réflexes primitifs intra-évaluateur.

Le SG a montré une bonne fiabilité inter-évaluateurs pour les valeurs moyennes. Fait intéressant, les quatre RPs ont montré une gamme d'ICC similaire. Le RTL EXT a montré l'ICC le plus bas pour la fiabilité inter-évaluateurs, avec une moyenne modérée pour les valeurs moyennes. À l'inverse, le RTSC (en extension et en flexion) a montré l'ICC le plus élevé pour la fiabilité inter-évaluateurs en termes de valeurs moyennes (RTSC EXT : ICC = 0,95, IC = [0,93-0,97] ; RTSC flexion : ICC = 0,99, IC = [0,98-0,99]). Le RM a affiché une excellente fiabilité inter-évaluateurs pour les valeurs moyennes. De plus, le RTAC a montré une disparité entre ses positions gauche et droite, avec une excellente fiabilité inter-évaluateurs observée pour les valeurs moyennes du RTAC gauche et une bonne fiabilité inter-évaluateurs pour les valeurs moyennes du RTAC droit (tableau 15).

Tableau 15 Statistique descriptive et de fiabilité liées aux valeurs des tests INPP inter-évaluateur.

SG et PRs	Score moyen (ET)			Δ Score (ET)			Statistiques de fiabilités	
	EV1	EV2	EV3	EV1-EV2	EV2-EV3	EV1-EV3	ICC [95% CI]	F Test [df1/df2]
Global Score	5,7 (3,5)	5,7 (3,5)	5,8 (3,7)	0 (0,6)	-0,1 (1,1)	-0,1 (1,1)	0,96 [0,95-0,98]	79,5 [68/136]
RTAC droit	1,1 (0,8)	1,1 (0,8)	1 (0,8)	0 (0,2)	0,1 (0,5)	0,1 (0,6)	0,84 [0,78-0,89]	17,2 [69/139]
RTAC gauche	0,9 (0,8)	0,9 (0,8)	0,8 (0,8)	0 (0,2)	0,1 (0,4)	0,1 (0,4)	0,91 [0,87-0,94]	31,8 [68/136]
RTSC extension	0,5 (0,7)	0,4 (0,7)	0,4 (0,7)	0 (0,2)	0 (0,3)	0 (0,2)	0,95 [0,93-0,97]	58 [68/136]
RTSC flexion	0,5 (0,9)	0,5 (0,9)	0,5 (0,9)	0 (0,1)	0 (0,1)	0 (0,2)	0,99 [0,98-0,99]	242 [68/136]
RM	0,8 (1,4)	0,9 (1,4)	0,9 (1,5)	-0,1 (0,3)	0 (0,6)	-0,1 (0,6)	0,93 [0,90-0,95]	40,5 [68/136]
RTL extension	1,1 (0,7)	1,1 (0,7)	1,4 (0,8)	0,1 (0,4)	-0,3 (0,7)	-0,2 (0,6)	0,72 [0,61-0,80]	8,5 [68/136]
RTL flexion	1 (0,8)	1 (0,8)	1 (0,8)	0 (0,4)	0 (0,5)	-0,1 (0,4)	0,83 [0,76-0,88]	15,4 [68/138]

2.2.3 Analyse inter évaluateur entre novice et expert

Les statistiques descriptives et de fiabilité liées aux valeurs des RPs intra-évaluateur par paires d'évaluateurs sont présentées dans le Tableau 16. Les résultats obtenus entre l'expert et les novices ont montré une excellente fiabilité inter-évaluateurs pour le SG (R1-R2 ; R1-R3), ainsi qu'une excellente fiabilité inter-évaluateurs pour le SG entre novices (R2-R3). Notamment, la plus faible fiabilité inter-évaluateurs a été observée pour le RTL EXT entre novices (R2-R3), qui a été évaluée comme faible. À l'inverse, la fiabilité inter-évaluateurs du RTL flexion et du RTAC (à la fois à droite et à gauche) variait de bonne à excellente. De plus, le RM et le RTSC (en extension et en flexion) ont montré une excellente fiabilité inter-évaluateurs.

Tableau 16 Statistique de fiabilité liés aux valeurs des tests INPP inter-évaluateurs entre chaque évaluateur.

RPs	EV1-EV2	Δ Score EV2-EV3	E2-EV3
Score global			
ICC [95 % CI]	0,98 [0,98-0,99]	0,96 [0,93-0,97]	0,95 [0,92-0,97]
F Test [df1/df2]	131 [68/68]	45,1 [68/68]	38,9 [68/68]
P-Value	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
RTAC Droit			
ICC [95 % CI]	0,98 [0,96-0,99]	0,76 [0,64-0,85]	0,82 [0,72-0,88]
F Test [df1/df2]	90,9 [68/68]	7,4 [68/68]	9,9 [68/68]
P-Value	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
RTAC gauche			
ICC [95 % CI]	0,97 [0,95-0,98]	0,86 [0,79-0,91]	0,9 [0,85-0,94]
F Test [df1/df2]	60,9 [68/68]	13,5 [68/68]	19,4 [68/68]
P-Value	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
RTSC extension			
ICC [95 % CI]	0,97 [0,95-0,98]	0,96 [0,93-0,97]	0,92 [0,88-0,95]
F Test [df1/df2]	65 [68/68]	46 [68/68]	24,7 [68/68]
P-Value	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
RTSC Flexion			
ICC [95 % CI]	0,99 [0,98-0,99]	0,98 [0,97-0,99]	0,99 [0,98-0,99]
F Test [df1/df2]	215 [68/68]	105 [68/68]	223 [68/68]
P-Value	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
RM			
ICC [95 % CI]	0,98 [0,96-0,99]	0,91 [0,86-0,95]	0,9 [0,84-0,94]
F Test [df1/df2]	88,6 [68/68]	22,2 [68/68]	18,9 [68/68]
P-Value	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
RTL extension			
ICC [95 % CI]	0,84 [0,75-0,90]	0,71 [0,57-0,81]	0,61 [0,44-0,74]
F Test [df1/df2]	11,3 [68/68]	5,84 [68/68]	4,1 [68/68]
P-Value	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
RTL flexion			
ICC [95 % CI]	0,84 [0,76-0,90]	0,87 [0,80-0,91]	0,77 [0,65-0,85]
F Test [df1/df2]	11,9 [68/68]	13,9 [68/68]	7,74 [68/68]
P-Value	[0,76-0,90] [68/68]	[0,80-0,91] [68/68]	[0,65-0,85] [68/68]

2.3 Points clés

L'évaluation de la répétabilité intra-évaluateur et de la reproductibilité inter-évaluateur de l'échelle subjective de l'INPP nous a permis de valider notre hypothèse selon laquelle cette méthode offre une cohérence suffisante pour juger l'activité des RPs.

Validation de l'échelle subjective de l'INPP :

- Les résultats confirment une forte cohérence intra-évaluateur et inter-évaluateur pour l'évaluation de l'activité des RPs.
- Les groupes "Faible" et "Pas d'activité" présentent une faible variabilité inter-évaluateur, renforçant la fiabilité de l'échelle.

Fiabilité et adaptabilité de l'échelle :

- L'échelle subjective de l'INPP est adaptée pour analyser les RPs, grâce à une méthodologie de test simple et standardisée (mouvements distaux, maintien de posture pendant des flexions/extensions).
- Les mouvements testés sont facilement observables et interprétables, même par des novices, limitant ainsi les risques d'erreur.

Minimisation des biais d'évaluation :

- Le rôle de l'évaluateur est réduit à l'observation des mouvements involontaires, minimisant son implication dans la quantification et réduisant ainsi les risques de biais.

Contribution scientifique :

- Cette méthode constitue une première tentative de quantification et de classification systématique du niveau d'activité des RPs, une avancée clé pour la recherche dans ce domaine.

3 Réflexes primitifs et mouvements involontaires

3.1 Objectifs et procédures

L'objectif de cette étude était de déterminer si des mouvements involontaires similaires à ceux induit par l'activité d'un RP actif pouvaient être percevables et reconnaissables pendant les tests athlétiques classique fait dans les centres de formation. Nous avons utilisé la même population que pour les deux dernières études, sur cette saison 70 joueurs ont été inclus (âge $17,9 \pm 1,5$ ans ; taille $178,0 \pm 6,2$ cm ; poids $69,6 \pm 6,9$ kg). Le protocole des tests athlétiques et des tests des RPs sont décrits dans la méthodologie générale partie 2.

3.2 Résultats

3.3 Critères d'observation et activité globale des réflexes primitifs

Le tableau 17 présente les résultats des notes attribuées en fonction des critères observés et de l'activité globale des RPs durant les tests. Les moyennes des notes³, calculées à partir des évaluations des trois observateurs, sont indiquées pour chaque observation dans les tests CMJ, DJ et course sur tapis.

Les résultats ont montré qu'aucune différence notable n'a été observée entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés lors des tests de saut (CMJ et DJ). En revanche, lors de la course, deux critères d'observation ont révélé des différences significatives dans l'évaluation des mouvements involontaires observés.

Le décalage sur la droite a été noté de manière significativement plus fréquente chez les joueurs du groupe RPs actifs par rapport au groupe RPs intégrés ($p=0,03$). Dans le groupe RPs actifs, 30,4% des joueurs ont été notés avec un léger décalage sur la droite et 20,1% avec un décalage net, alors qu'aucun joueur du groupe RPs intégrés n'a présenté ce type de mouvement. Le déséquilibre frontal a également montré une différence avec une signification marginale ($p=0,05$). Dans le groupe RPs actifs, 54,2% des joueurs ont été notés avec un léger déséquilibre frontal, contre 17,0% dans le groupe RPs intégrés. Le déséquilibre avant, bien que la différence n'ait pas atteint la signification statistique ($p=0,09$), 41% des joueurs du groupe RPs actifs ont été notés avec un léger déséquilibre avant, comparé à 17% dans le groupe RPs intégrés. De plus, 13% des joueurs du groupe RPs actifs ont présenté un déséquilibre net, tandis qu'aucun joueur du groupe RPs intégrés n'a été noté pour ce critère.

³ Note de 1 à 3 en fonction de l'observation du critère : 1 = pas du tout ; 2 = Un peu / léger ; 3 = Oui / nettement

Tableau 17 Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité globale des réflexes primitifs.

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p- Value
CMJ TEST	Abduction des bras saccadée	0,8 ± 1,0	0,9 ± 0,9	0,92
	Déséquilibre avant à la réception	0,1 ± 0,5	0,1 ± 0,4	1,0
	Déséquilibre arrière à la réception	0,8 ± 0,9	0,3 ± 0,8	0,13
	Réception avec décalage sur la gauche	0,2 ± 0,5	0,6 ± 1,0	0,11
	Réception avec décalage sur la droite	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,4	0,49
	Hyperextension durant le saut	1,1 ± 0,9	1,1 ± 0,9	0,82
	Flexion du tronc durant le saut	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,53
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,61
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,3 ± 0,6	0,0 ± 0,0	0,18
	Extension de la tête	0,3 ± 0,6	0,0 ± 0,0	0,28
	Flexion de la tête	0,5 ± 0,8	0,1 ± 0,4	0,25
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p- Value
DJ test	Abduction des bras saccadée	0,4 ± 0,8	0,4 ± 0,8	0,95
	Déséquilibre avant à la réception	0,5 ± 0,8	0,7 ± 1,0	0,59
	Déséquilibre arrière à la réception	0,3 ± 0,7	0,3 ± 0,8	0,84
	Stress au test/Hésitation	0,0 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,71
	Réception avec décalage sur la gauche	0,3 ± 0,6	0,0 ± 0,0	0,18
	Réception avec décalage sur la droite	0,4 ± 0,7	0,6 ± 0,8	0,36
	Hyperextension durant le saut	0,6 ± 0,8	0,6 ± 1,0	0,86
	Flexion du tronc durant le saut	0,2 ± 0,5	0,4 ± 0,8	0,31
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,0 ± 0,2	0,0 ± 0,0	0,61
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,4
	Extension de la tête	0,2 ± 0,6	0,0 ± 0,0	0,35
	Flexion de la tête	0,9 ± 0,8	0,5 ± 0,7	0,45
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p- Value
Course	Déséquilibre avant	0,7 ± 0,7	0,2 ± 0,4	0,09
	Décalage sur la gauche	0,7 ± 0,9	0,3 ± 0,8	0,35
	Décalage sur la droite	0,7 ± 0,8	0,0 ± 0,0	0,03*
	Course en "Zig Zag"	0,3 ± 0,7	0,0 ± 0,0	0,34
	Flexion du tronc durant la course	1,0 ± 0,8	0,8 ± 1,0	0,66
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,8 ± 0,9	0,7 ± 0,8	0,67
	Pouce en l'air	1,1 ± 0,9	1,2 ± 1,0	0,93
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,5 ± 0,7	0,2 ± 0,4	0,18
	Déséquilibre frontal (ondulation gauche/droite)	0,8 ± 0,5	0,2 ± 0,4	0,05*

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

3.3.1 Critères d'observation et activité des réflexes primitifs

L'intégralité des notations des critères d'observation pour tous les RPs en fonction des groupes (RPs actifs et intégrés) est présentée en Annexe 1.A à G.

3.3.1.1 Réflexe tonique asymétrique du cou

Pour le RTAC droit ou gauche, aucune différence significative n'a été trouvée dans les évaluations des Critères d'observation, que ce soit lors des tests de saut ou de la course entre les deux groupes RPs actifs et RPs intégrés.

3.3.1.2 Réflexe tonique symétrique du cou

Pour le RTSC extension, une abduction des bras saccadée a été observée plus fréquemment lors du CMJ chez les joueurs du groupe RPs actifs ($p=0,02$), et une réception avec décalage sur la droite a été plus fréquente lors du DJ ($p=0,03$). Pour le RTSC flexion, le décalage sur la gauche a été significativement plus observé lors du DJ ($p=0,01$) chez le groupe RPs actifs. En revanche, aucune différence significative n'a été trouvée lors des évaluations des critères d'observation pendant la course pour les deux groupes.

3.3.1.3 Réflexe de Moro

Lors du CMJ, la flexion de la tête a été significativement plus fréquente chez les joueurs du groupe RPs actifs ($p=0,01$), avec 31,6% des joueurs montrant une flexion nette, contre 5,4% dans le groupe RPs intégrés. Aucune autre différence notable n'a été observée pour les autres critères. Enfin, lors des évaluations en course, aucune différence significative n'a été trouvée entre les groupes pour tous les critères observés.

3.3.1.4 Réflexe tonique labyrinthique

Pour le RTL extension, lors du CMJ, la flexion de la tête a été significativement plus fréquente chez les joueurs du groupe RPs actifs ($p=0,03$), avec 23,5% des joueurs montrant une flexion nette, contre 10,3% dans le groupe RPs intégrés. Aucune autre différence notable n'a été observée lors du CMJ. De manière similaire, pour le RTL flexion, la flexion de la tête lors du CMJ a également été significativement plus observée chez les joueurs du groupe RPs actifs ($p=0,03$), avec des proportions identiques à celles du RTL extension. Aucune autre différence significative n'a été observée pour les autres critères lors du CMJ ou du DJ, bien que des tendances similaires aient été notées pour le décalage sur la gauche lors du DJ. Enfin, lors des évaluations en course, aucune différence significative n'a été trouvée entre les groupes pour tous les critères observés.

3.4 Points clés

Cette étude initie une première exploration des effets potentiels des RPs actifs sur la motricité des joueurs de football, examinant si des mouvements involontaires similaires à ces RPs peuvent être détectés lors de tests physiques.

Corrélation limitée entre l'activité des RPs et les critères d'observation :

- Seuls 2 critères sur 9 pendant la course (décalage sur la droite et déséquilibre frontal) sont significativement associés à l'activité globale des RPs.
- Aucun critère sur les 24 étudiés lors des tests de saut (CMJ + DJ) n'a montré de différence significative entre les joueurs avec des RPs actifs et ceux avec des RPs intégrés.

Faible représentativité des critères sélectionnés :

- Environ 6 % des critères d'observation choisis sont corrélés avec l'activité globale des RPs, suggérant une insuffisance pour différencier de manière fiable les deux groupes.
- Pour chaque RP spécifique, un maximum de 2 critères d'observation a été identifié comme pertinent (par exemple, pour le RTSC : flexion de la tête lors du CMJ et décalage sur la gauche lors du DJ).

Pertinence des critères d'observation remise en question :

- Les critères choisis, bien qu'inspirés des mouvements involontaires liés aux RPs, semblent inadaptés pour détecter de manière fiable l'impact des RPs dans des tests physiques standardisés. Les mouvements involontaires liés aux RPs pourraient se manifester différemment en contexte réel (par exemple, dans les paramètres spatio-temporels de la course), influençant la performance et la biomécanique sans reproduire directement les mouvements caractéristiques des RPs.

Ces résultats mettent en lumière les limites des critères actuels pour évaluer l'impact des RPs sur la motricité et appellent à une révision des méthodologies pour mieux appréhender ce lien.

Résultats phase d'observation

1 Réflexes primitifs, incidence de blessure et alerte

1.1 Objectifs et procédures

L'objectif de cette étude était d'examiner la relation entre RPs actifs, l'incidence des blessures et le niveau d'alerte médicale chez les joueurs de football. Plus précisément, nous avons cherché à déterminer si les joueurs avec des RPs actifs étaient plus blessés, s'il y avait un environnement défavorable, un type de blessure ou bien une localisation plus marquée. Nous avons ensuite observé si le nombre de jours par étape de réhabilitation (réhabilitation médicale, reprise de la course et réhabilitation physique) était supérieur chez les joueurs avec un RPs actifs, ainsi que le nombre total de jours d'absence. Enfin, nous avons analysé le niveau des alertes médicales pour évaluer si les joueurs avec des RPs actifs montrent des niveaux d'alerte supérieurs. Soixante-quinze joueurs ont été inclus dans l'étude (âge $17,9 \pm 2,1$ ans ; taille $178,03 \pm 6,2$ cm ; poids $67,6 \pm 7,9$ kg). Les blessures et les alertes ont été renseigné suivant le protocole décrit dans la méthodologie générale partie 3.

1.2 Résultats

1.2.1 *Activité des réflexes primitifs et le nombre de blessures*

Les résultats du tableau montrent qu'entre l'activité RPs ou l'activité globale, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les ratios de blessures des groupes RPs et RPs intégrés, avec des p-values toutes supérieures à 0,05. (tableau 18).

Tableau 18 Ratio de Blessures en Fonction de l'Activité Globale et des RPs

Groupe	Fréquence des blessures (RPs actifs)	Fréquence des blessures (RPs intégrés)	Différence	p- Value
Activité Globale	1,5	1,5	0,1	>0,05
RTAC droit	1,2	2,0	-0,8	>0,05
RTAC gauche	1,3	1,7	-0,4	>0,05
RTSC extension	1,4	1,5	-0,1	>0,05
RTSC flexion	1,5	1,5	-0,1	>0,05
RM	1,4	1,6	-0,2	>0,05
RTL extension	1,6	1,0	0,6	>0,05
RTL flexion	1,5	1,7	-0,2	>0,05

1.2.2 L'activité des réflexes primitifs et les catégories de blessures

Aucune différence statistiquement significative n'a été relevée entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés pour l'ensemble des RPs évalués ou par activité globale des RPs. Les proportions calculées pour chaque type de blessure, gravité, environnement, et localisation ont montré des variations, mais ces différences n'ont pas atteint le seuil de significativité statistique (Tableau 19 à 22).

Tableau 19 Distribution des proportions de blessures en fonction des critères de localisation des blessures et de l'activité des RPs

Types de blessure	Groupe	Activité Globale	RTAC droit	RTAC gauche	RTSC extension	RTSC flexion	RM	RTL extension	RTL flexion
Adducteurs	RPs actifs	7,0%	6,5%	9,3%	5,7%	5,8%	9,3%	3,7%	17,1%
	RPs intégrés	6,3%	11,1%	0,0%	7,9%	7,8%	5,5%	7,9%	2,5%
Cheville	RPs actifs	19,0%	19,6%	16,3%	24,5%	23,1%	16,3%	18,5%	17,1%
	RPs intégrés	12,5%	0,0%	23,3%	12,7%	14,1%	19,2%	18,0%	18,5%
Genou	RPs actifs	22,0%	18,7%	22,1%	18,9%	23,1%	20,9%	14,8%	11,4%
	RPs intégrés	0,0%	22,2%	10,0%	19,0%	15,6%	17,8%	20,2%	22,2%
Hanche/Bassin	RPs actifs	12,5%	0,0%	10,0%	7,9%	7,8%	6,8%	2,2%	2,5%
	RPs intégrés	4,0%	5,6%	3,5%	1,9%	1,9%	2,3%	14,8%	11,4%
Ischiojambiers	RPs actifs	12,5%	22,2%	10,0%	12,7%	12,5%	11,0%	11,2%	11,1%
	RPs intégrés	11,0%	10,3%	11,6%	9,4%	9,6%	11,6%	11,1%	11,4%
Membres Supérieurs	RPs actifs	12,5%	11,1%	10,0%	6,3%	9,4%	9,6%	10,1%	8,6%
	RPs intégrés	7,0%	7,5%	7,0%	9,4%	5,8%	4,7%	0,0%	5,7%
Mollet (s)	RPs actifs	6,3%	0,0%	3,3%	7,9%	7,8%	5,5%	3,4%	4,9%
	RPs intégrés	4,0%	4,7%	4,7%	0,0%	0,0%	2,3%	7,4%	2,9%
Pied(s)/Orteil	RPs actifs	6,3%	11,1%	3,3%	1,6%	1,6%	1,4%	1,1%	1,2%
	RPs intégrés	4,0%	3,7%	4,7%	7,5%	7,7%	9,3%	14,8%	11,4%
Quadriceps	RPs actifs	12,5%	0,0%	13,3%	14,3%	12,5%	11,0%	13,5%	13,6%
	RPs intégrés	11,0%	12,1%	10,5%	7,5%	9,6%	11,6%	3,7%	5,7%
Rachis	RPs actifs	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	1,6%	1,4%	1,1%	1,2%
	RPs intégrés	1,0%	0,9%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tibia	RPs actifs	0,0%	0,0%	3,3%	0,0%	0,0%	4,1%	2,2%	3,7%
	RPs intégrés	3,0%	2,8%	2,3%	5,7%	5,8%	0,0%	3,7%	0,0%
Tête	RPs actifs	18,8%	11,1%	10,0%	6,3%	7,8%	5,5%	6,7%	6,2%
	RPs intégrés	3,0%	4,7%	3,5%	3,8%	1,9%	4,7%	0,0%	2,9%
Épaule	RPs actifs	0,0%	11,1%	3,3%	1,6%	1,6%	0,0%	0,0%	1,2%
	RPs intégrés	2,0%	0,9%	1,2%	1,9%	1,9%	4,7%	7,4%	2,9%

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

Tableau 20 Distribution des proportions de blessures en fonction des critères de la gravité des blessures et de l'activité des RPs

Gravité	Groupe	Activité Globale	RTAC droit	RTAC gauche	RTSC extension	RTSC flexion	RM	RTL extension	RTL flexion
Minime	RPs actifs	3,0%	2,8%	3,5%	1,9%	1,9%	4,7%	0,0%	0,0%
	RPs intégrés	0,0%	0,0%	0,0%	3,2%	3,1%	1,4%	3,4%	3,7%
Légère	RPs actifs	14,0%	15,9%	11,6%	11,3%	9,6%	14,0%	11,1%	8,6%
	RPs intégrés	43,8%	44,4%	36,7%	23,8%	25,0%	20,5%	20,2%	22,2%
Modérée	RPs actifs	51,0%	49,5%	54,7%	50,9%	51,9%	41,9%	63,0%	71,4%
	RPs intégrés	25,0%	22,2%	26,7%	44,4%	43,8%	50,7%	42,7%	37,0%
Sévère	RPs actifs	27,0%	27,1%	25,6%	26,4%	26,9%	34,9%	22,2%	17,1%
	RPs intégrés	25,0%	22,2%	30,0%	27,0%	26,6%	21,9%	28,1%	30,9%

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

Tableau 21 Distribution des proportions de blessures en fonction des critères du types des blessures et de l'activité des RPs

Types de blessures	Groupe	Activité Globale	RTAC droit	RTAC gauche	RTSC extension	RTSC flexion	RM	RTL extension	RTL flexion
Ménisque/Cartilage	RPs actifs	9,0%	7,5%	9,3%	9,4%	11,5%	11,6%	0,0%	2,9%
	RPs intégrés	0,0%	11,1%	3,3%	6,3%	4,7%	5,5%	10,1%	9,9%
Ligamentaire	RPs actifs	30,0%	29,9%	25,6%	35,8%	32,7%	25,6%	33,3%	22,9%
	RPs intégrés	25,0%	22,2%	40,0%	23,8%	26,6%	31,5%	28,1%	32,1%
Tendineux	RPs actifs	12,0%	11,2%	12,8%	9,4%	11,5%	9,3%	11,1%	20,0%
	RPs intégrés	12,5%	22,2%	10,0%	14,3%	12,5%	13,7%	12,4%	8,6%
Musculaire	RPs actifs	34,0%	35,5%	34,9%	22,6%	25,0%	34,9%	37,0%	31,4%
	RPs intégrés	43,8%	33,3%	36,7%	46,0%	43,8%	35,6%	34,8%	37,0%
Osseux	RPs actifs	11,0%	11,2%	12,8%	17,0%	15,4%	11,6%	18,5%	20,0%
	RPs intégrés	6,3%	0,0%	3,3%	4,8%	6,3%	9,6%	7,9%	6,2%
Neurologique	RPs actifs	3,0%	3,7%	3,5%	3,8%	1,9%	4,7%	0,0%	2,9%
	RPs intégrés	12,5%	11,1%	6,7%	4,8%	6,3%	4,1%	5,6%	4,9%

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

Tableau 22 Distribution des proportions de blessures en fonction de l'environnement des blessures et de l'activité des RPs

Environnement	Groupe	Activité Globale	RTAC droit	RTAC gauche	RTSC extension	RTSC flexion	RM	RTL extension	RTL flexion
Entraînement avec contact/choc	RPs actifs	22,4%	25,2%	22,1%	22,6%	19,2%	20,9%	22,2%	22,9%
Entraînement avec contact/choc	RPs intégrés	33,3%	11,1%	30,0%	25,4%	28,1%	26,0%	24,7%	24,7%
Entraînement sans contact	RPs actifs	45,9%	43,0%	46,5%	37,7%	36,5%	46,5%	40,7%	48,6%
Entraînement sans contact	RPs intégrés	33,3%	55,6%	36,7%	49,2%	50,0%	42,5%	44,9%	42,0%
Match avec contact/choc	RPs actifs	19,4%	19,6%	19,8%	22,6%	28,8%	16,3%	22,2%	14,3%
Match avec contact/choc	RPs intégrés	22,2%	22,2%	20,0%	17,5%	12,5%	21,9%	19,1%	22,2%
Match sans contact	RPs actifs	10,2%	10,3%	10,5%	13,2%	11,5%	14,0%	14,8%	14,3%
Match sans contact	RPs intégrés	11,1%	11,1%	10,0%	7,9%	9,4%	8,2%	9,0%	8,6%

***Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).**

1.2.3 L'activité globale des réflexes primitifs et les jours d'indisponibilité par étape de réhabilitation

Les moyennes des jours dans chaque phase de réhabilitation ($\pm$ ET) sont présentées dans la figure 23 en fonction de l'activité globale des RPs.

Pour la réhabilitation kinésithérapeutique globale, bien que le groupe RPs actif aient montré une durée plus longue de réhabilitation par rapport au groupe RPs intégrés, cette différence n'était pas statistiquement significative. En effet, le groupe RPs actifs ont présenté une durée de réhabilitation moyenne de $22,6 \pm 25,3$ jours contre $16,3 \pm 13,0$ jours pour les RPs intégrés ($p=0,24$).

Pour la reprise de la course, le groupe RPs actifs ont également pris significativement plus de temps que le groupe RPs intégrés. En effet, ils ont mis $12,3 \pm 17,6$ jours contre $5,9 \pm 4,0$ jours pour les RPs intégrés, soit une différence de 6,4 jours ($p=0,006$).

En ce qui concerne la durée de réhabilitation physique, malgré un temps de réhabilitation plus élevé pour le groupe RPs actifs avec $25,3 \pm 28,6$ jours contre $18,0 \pm 15,3$ pour le groupe avec les RPs intégrés, cette différence n'est pas significative.

Enfin, pour la durée d'absence avant le retour à l'entraînement dans l'activité globale, les RPs actifs ont observé une absence plus prolongée de +9,7 jours que le groupe RPs intégrés ($p \leq 0,05$).

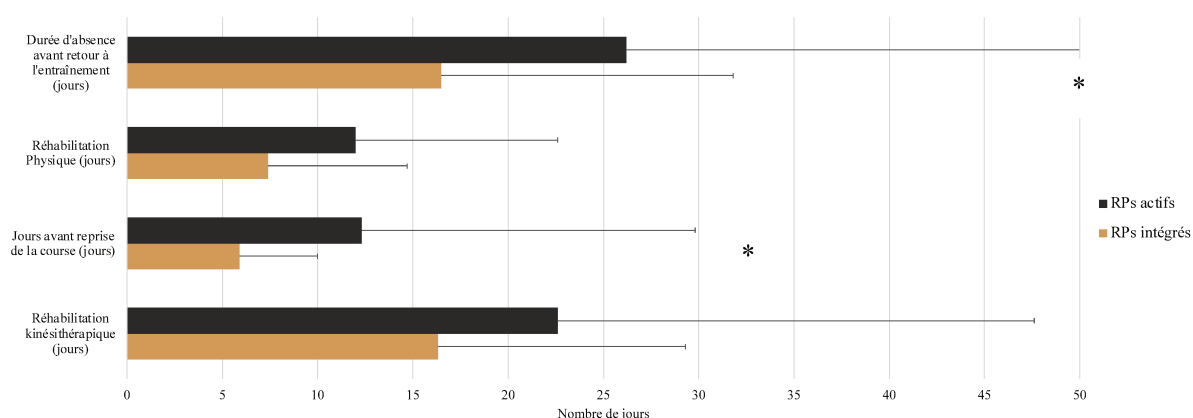


Figure 23 Comparaison des nombres de jours de réhabilitation par étapes en fonction de l'activité globale des réflexes primitifs.

1.2.4 L'activité des réflexes primitifs et les jours d'indisponibilité par étape de réhabilitation

Les résultats des temps de réhabilitation en fonction de chaque RP ont montré des variations significatives pour certaines phases de réhabilitations (tableau 23).

- **Période de réhabilitation kinésithérapeutique**

Pour les joueurs ayant le RTAC actif, une durée de réhabilitation kinésithérapeutique significativement plus longue a été observée par rapport à ceux ayant le RP intégré. Pour le RTAC droit, les joueurs avec ce RP actif ont nécessité $30,6 \pm 32,8$ jours, contre $14,6 \pm 8,7$ jours pour ceux avec le RP intégré ($p=0,01$), soit une différence de +16 jours. Pour le RTAC gauche, la durée était de $30,1 \pm 32,7$ jours contre $15,4 \pm 11,1$ jours pour les RPs intégrés ($p=0,02$), soit une différence de +14,7 jours.

- **Reprise de la course**

Les joueurs ayant un RTAC gauche actif ont pris plus de temps pour reprendre la course, avec une durée de $16,4 \pm 24,3$ jours contre $7,8 \pm 5,3$ jours pour ceux avec le RP intégré ($p=0,04$), soit une différence de 8,6 jours. Pour le RTAC droit, une tendance à la significativité a été observée, les joueurs avec le RP actif prenant 7,2 jours de plus que ceux avec le RP intégré ($p=0,07$).

- **Période de réhabilitation physique**

Pour les joueurs ayant un RM actif, une différence significative a été constatée dans la durée de réhabilitation physique. Ces joueurs ont nécessité $15,6 \pm 14,0$ jours, contre $9,1 \pm 6,7$ jours pour ceux avec le RP intégré ($p=0,03$), soit une différence de 6,5 jours.

- **Temps de réhabilitation total**

Concernant la durée d'absence avant le retour à l'entraînement, les joueurs ayant un RTAC droit actif ont présenté une absence prolongée, avec $31,1 \pm 36,2$ jours contre $20,0 \pm 14,5$ jours pour ceux avec le RP intégré ($p=0,049$). Pour le RTAC gauche, une différence marginalement significative a été notée ($p=0,073$).

En ce qui concerne le RTL en flexion, les joueurs avec le RP actif ont pris $11,6 \pm 16,7$ jours pour reprendre, contre $5,2 \pm 2,7$ jours pour ceux avec le RP intégré ($p=0,006$), soit une différence de 6,4 jours. Pour l'extension du RTL, une tendance à la significativité a été relevée, avec une absence prolongée de 10,4 jours pour les joueurs ayant le RP actif par rapport à ceux avec le RP intégré ($p=0,07$).

À noter que le RTSC, dans les deux positions (extension et flexion), ainsi que le RTL en flexion, n'ont pas montré de différence significative sur les étapes de retour à l'entraînement.

Tableau 23 Comparaison des nombres de jours de réhabilitation par étapes en fonction de l'activité des réflexes primitifs

Étapes de réhabilitation en jours	Réhabilitation kinésithérapique (jours)		Jours avant reprise de la course (jours)		Réhabilitation Physique (jours)		Durée d'absence avant retour à l'entraînement (jours)	
	RP actifs	RP intégrés	RP actifs	RP intégrés	RP actifs	RP intégrés	RP actifs	RP intégrés
RTAC droit	30,6 ± 32,8*	14,6 ± 8,7	15,4 ± 23,7†	8,2 ± 6,0	13,6 ± 12,8	9,7 ± 7,5	31,1 ± 36,2*	20,0 ± 14,5
RTAC gauche	30,1 ± 32,7*	15,4 ± 11,1	16,4 ± 24,3*	7,8 ± 5,3	13,1 ± 12,7	10,1 ± 8,0	30,7 ± 35,3†	20,5 ± 16,8
RTSC extension	19,9 ± 22,1	22,2 ± 24,6	10,7 ± 11,6	11,4 ± 17,5	30,7 ± 35,3	20,5 ± 16,8	24,5 ± 22,9	24,9 ± 27,9
RTSC flexion	17,6 ± 20,3	23,9 ± 25,6	9,6 ± 10,2	11,9 ± 18,3	11,4 ± 9,1	11,3 ± 10,9	24,4 ± 23,7	25,0 ± 28,1
RM	29,4 ± 33,4	17,6 ± 16,0	14,5 ± 23,7	9,5 ± 10,2	15,6 ± 14,0*	9,1 ± 6,7	32,2 ± 37,9†	20,5 ± 15,7
RTL extension	21,5 ± 24,2	30,0 ± 15,6	11,6 ± 16,7*	5,2 ± 2,7	11,3 ± 10,3	14,0 ± 12,4	25,6 ± 27,4†	15,2 ± 12,9
RTL flexion	21,1 ± 24,7	23,7 ± 22,2	11,6 ± 17,2	10,2 ± 13,9	11,7 ± 11,1	10,1 ± 7,0	26,0 ± 28,7	21,6 ± 19,8

*Différence significative entre les groupes RPs intégrés et RPs actifs ($p < 0,05$), † niveau de significativité entre les groupes RPs intégrés et RPs actifs ($p < 0,08$).

1.2.5 Les alertes

Les moyennes des niveaux d'alertes ($\pm$ ET) sont présentées dans le tableau 24 pour l'activité globale des RPs et par niveau d'activité des RPs pour chaque étape avant le retour à l'entraînement.

Les résultats montrent que l'activité globale et le RM sont associés à des niveaux d'alerte significativement plus élevés dans le groupe RPs actifs par rapport au groupe RPs intégrés, avec des p-values égales à 0,002 et 0,01 respectivement. Pour ces deux variables, les niveaux d'alerte moyens étaient supérieurs dans le groupe RPs actifs ($1,47 \pm 0,67$ pour l'activité globale et $1,54 \pm 0,74$ pour le RM) par rapport au groupe RPs intégrés. Les autres RPs, n'ont pas montré de différences significatives entre les groupes ($p > 0,05$), indiquant que l'activité de ces RPs n'influence pas de manière notable le niveau d'alerte.

Tableau 24 Comparaison des niveaux d'alerte en fonction de l'activité des réflexes primitifs.

	Niveau Alerte RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	Niveau Alerte RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	t-stat	p-value
Activité Globale	$1,47 \pm 0,67$	$1,30 \pm 0,51$	3,18	0,002*
RTAC droit	$1,42 \pm 0,63$	$1,46 \pm 0,66$	-0,77	0,44
RTAC gauche	$1,44 \pm 0,66$	$1,43 \pm 0,64$	0,27	0,79
RTSC extension	$1,46 \pm 0,66$	$1,43 \pm 0,64$	0,52	0,60
RTSC flexion	$1,41 \pm 0,64$	$1,45 \pm 0,65$	-0,72	0,47
RM	$1,54 \pm 0,74$	$1,39 \pm 0,59$	2,70	0,01*
RTL extension	$1,45 \pm 0,66$	$1,37 \pm 0,58$	1,39	0,17
RTL flexion	$1,44 \pm 0,65$	$1,43 \pm 0,64$	0,13	0,89

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

1.3 Points clés

L'hypothèse initiale, selon laquelle l'activité des RPs pourrait être liée au nombre, au type ou à la localisation des blessures chez les joueurs de football, a été réfutée. Cependant, cette étude a permis de mettre en lumière des découvertes inattendues, notamment l'influence des RPs actifs sur la durée de réhabilitation, ainsi que sur les niveaux d'alerte médicale. Ces aspects, bien que non anticipés faute de données préalables dans la littérature, ouvrent de nouvelles perspectives pour la gestion et la compréhension des RPs dans un contexte sportif.

Lien entre RPs et blessures :

- Aucune corrélation statistiquement significative n'a été trouvée entre l'activité des RPs et le nombre total de blessures, leurs types ou leur localisation.

- En revanche, les joueurs avec des RPs actifs présentent une durée de réhabilitation significativement plus longue que ceux avec des RPs intégrés.

Facteurs expliquant l'impact sur la réhabilitation :

- Les RPs actifs pourraient perturber les schémas de mouvement normaux, nécessitant des ajustements compensatoires qui prolongent la réhabilitation.
- Ils peuvent également ralentir la réacquisition des compétences motrices et des capacités d'apprentissage nécessaires à la reprise sportive (Hazzaa et al., 2021).

Surveillance médicale accrue :

- Les joueurs avec des RPs actifs montrent des niveaux d'alerte médicale plus élevés, suggérant un besoin accru de suivi par les équipes médicales et les préparateurs physiques.
- Cette surveillance accrue pourrait être liée à des facteurs psychologiques tels que le stress ou la sur-vigilance, exacerbés par l'activité des RPs (Niklasson & Niklasson, 2022).

Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte l'activité des RPs dans la gestion des blessures et la planification des protocoles de réhabilitation.

2 Réflexes primitifs et incidence sur les tests athlétiques

2.1 Objectifs et procédures

L'objectif de cette étude était de déterminer si l'activité des RPs influencerait négativement les résultats des tests athlétiques pour évaluer la condition physique des joueurs du centre formation. Nous avons utilisé des tests d'endurance, de vitesse, de force, de mesure d'asymétrie de force. Tous les joueurs de l'académie respectant les critères d'inclusions ont été inclus, soit 52 joueurs de football (âge $18,2 \pm 1,4$ ans ; taille $179,0 \pm 5,2$ cm ; poids $69,2 \pm 6,4$ kg). Le protocole des tests évaluations des RPs et des tests athlétiques sont décrits dans la méthodologie générale, parties 1 et 3.

2.2 Résultats

2.2.1 Tests athlétiques et activité globale

2.2.1.1 Tests de Endurance – Vitesse

Les résultats des tests de course montrent des différences mineures entre les groupes, mais aucune d'elles n'est significative (Tableau 2()). Par exemple, le groupe RPs intégrés a obtenu un résultat au test VAMEVAL équivalent à celui du groupe RPs actifs. De même, pour le test Yoyo, le groupe RPs intégrés a montré un résultat supérieur de seulement 1,2% par rapport au groupe RPs actifs. Les performances de vitesse sur 10m ont montré que le groupe RPs actifs avait un temps légèrement plus long de 1,1%

par rapport au groupe RPs intégrés. En revanche, au test de 30 m, le groupe RPs intégrés a réalisé un temps supérieur de 2,3% à celui du groupe RPs actifs, bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative.

Tableau 25 Résultats obtenue aux tests de course (endurance et vitesse) : comparaison des groupes de RPs actifs et de réflexes primitifs intégrés

Test	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p</i>
VAMEVAL	18,3 ± 6,5	18,3 ± 7,4	0,73
Yoyo	2475,2 ± 341,13	2504,44 ± 449,2	0,82
10m	1,9 ± 0,1	1,88 ± 0,1	0,94
30m	4,4 ± 0,2	4,50 ± 0,01	0,11

2.2.1.2 Tests de saut : CMJ et DJ

Les différences entre les groupes lors des tests de saut étaient également faibles (tableau 26). Le groupe RPs intégrés a montré une hauteur de saut au CMJ supérieure de 0,5% par rapport au groupe RPs actifs. Cependant, l'indice d'asymétrie du CMJ était 46,6% plus élevé chez le groupe RPs actifs comparé au groupe RPs intégrés, bien que cette différence ne soit pas significative. Pour le Drop Jump, le groupe RPs actifs a montré une force 19,8% plus élevée que le groupe RPs intégrés, mais encore une fois, cette différence n'a pas atteint le seuil de significativité. Quant à l'indice d'asymétrie du DJ, il était 23,1% plus élevé chez le groupe RPs intégrés que chez le groupe RPs actifs, sans que cette différence soit significative.

Tableau 26 Résultats obtenue aux tests de sauts et l'asymétrie jambe droite-gauche sur la force développée : comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés

Test	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p</i>
CMJ (cm)	39,6 ± 5,2	39,8 ± 5,0	0,92
Asymétrie index CMJ (%)	9,56 ± 8,08	5,1 ± 4,7	0,07
Drop Jump (RSI)	2,0 ± 0,5	1,7 ± 0,4	0,07
Asymétrie index DJ (%)	10,4 ± 8,8	13,5 ± 15,7	0,74

2.2.1.3 Asymétrie test force : Ischiojambiers, adducteurs et abducteurs

Les résultats des tests d'asymétries de force montrent que le groupe RPs intégrés a présenté une asymétrie 22,1% plus élevée que le groupe RPs actifs lors du test NordBord pour la force maximale, bien que cette différence ne soit pas significative. Pour la force moyenne, le groupe RPs intégrés a montré une asymétrie 34% plus élevée que le groupe RPs actifs. Concernant la force des adducteurs, le

groupe RPs actifs a présenté une asymétrie 18,9% plus élevée que le groupe RPs intégrés, alors que pour la force des abducteurs, l'asymétrie était 15,5% plus élevée chez le groupe RPs intégrés comparé au groupe RPs actifs, mais encore une fois, ces différences n'ont pas atteint la significativité statistique (Tableau 27).

Tableau 27 Asymétrie jambe droite-gauche sur la force développée lors des tests de force (Ischiojambiers et Adducteur/abducteur): comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés

Asymétrie test	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p</i>
NordBord (Max Force) (%)	10,2 ± 8,9	12,45 ± 7,4	0,24
NordBord (Ave Force) (%)	9,5 ± 7,7	12,72 ± 6,1	0,09
Force Adducteur (%)	9,1 ± 7,9	7,65 ± 5,4	0,90
Force Adducteur (%)	7,1 ± 8,5	8,4 ± 12,4	0,55

2.2.2 Tests athlétiques et activité des réflexes primitifs

Les résultats obtenus lors des tests physiques réparties en fonction de l'activité des RPs sont disponibles en totalité en annexe 2.A à G.

2.2.2.1 Réflexe tonique asymétrique du cou

Pour le RTAC droit, les tests d'endurance, de vitesse, de saut, et d'asymétrie droite-gauche n'ont révélé aucune différence significative entre les groupes ($p > 0,07$). Concernant l'asymétrie de la force, une différence significative a été observée pour la force moyenne des ischiojambiers, où le groupe avec RPs actifs a montré une asymétrie plus élevée ($p = 0,03$), tandis que les autres mesures n'ont pas atteint la significativité ($p > 0,11$). Pour le RTAC gauche, les tests d'endurance, de vitesse, de saut, et d'asymétrie n'ont également montré aucune différence significative entre les groupes ($p > 0,20$). Les différences d'asymétrie de force entre les groupes étaient faibles et non significatives pour les ischiojambiers, les adducteurs, et les abducteurs ($p > 0,12$).

2.2.2.2 Réflexe tonique symétrique du cou

Pour le RTSC en extension, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes pour les tests d'endurance et de vitesse ($p > 0,28$), les tests de saut et d'asymétrie droite-gauche ($p > 0,18$), ainsi que pour l'asymétrie de force des ischiojambiers et des adducteurs/abducteurs ($p > 0,9$). De même, pour le RTSC en flexion, les tests d'endurance et de vitesse n'ont montré aucune différence significative entre les groupes ($p > 0,06$), tout comme les tests de saut et d'asymétrie ($p > 0,14$) et les mesures d'asymétrie de force ($p > 0,14$).

2.2.2.3 Réflexe de Moro

Pour les tests d'endurance et de vitesse, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes, que ce soit pour le score VAMEVAL, le test Yo-Yo, ou les vitesses sur 10 m et 30 m ($p>0,1$). De même, les tests de saut (CMJ, Drop Jump) et l'asymétrie droite-gauche n'ont montré aucune différence significative entre les groupes ($p>0,3$). Enfin, les mesures d'asymétrie de force des ischiojambiers et des adducteurs/abducteurs n'ont pas révélé de différences significatives ($p>0,6$).

2.2.2.4 Réflexe tonique labyrinthique

Pour le groupe RTL extension, les tests d'endurance et de vitesse n'ont révélé aucune différence significative entre les groupes. Les tests de saut et l'asymétrie droite-gauche n'ont pas montré de différences significatives, avec des performances très similaires entre les groupes pour le CMJ et le Drop Jump ($p>0,05$). En ce qui concerne l'asymétrie de la force des ischiojambiers et des adducteurs/abducteurs, les résultats sont similaires. En effet, aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée entre les groupes ($p>0,05$). Pour le groupe RTL flexion, les résultats suivaient la même ligne, aucune différence significative n'a été observée sur les tests d'endurance, de vitesse, de saut et d'asymétrie de force, malgré une légère supériorité non significative du groupe RPs actifs dans certains tests.

2.3 Points clés

Cette étude nous a permis d'examiner si les RPs actifs influençaient négativement les performances athlétiques des joueurs lors des tests d'endurance, de vitesse, de saut et de force. Les résultats obtenus réfutent l'hypothèse selon laquelle la persistance des RPs aurait un impact délétère systématique sur ces capacités.

- Aucune différence significative n'a été observée entre les joueurs présentant des RPs actifs et ceux chez qui ces RPs étaient intégrés, que ce soit sur les temps de course, la hauteur de saut, la force développée ou la capacité à maintenir un effort prolongé.
- Ces conclusions suggèrent que les RPs actifs ne constituent pas un facteur limitant direct des performances athlétiques dans cette population.
- Bien que les RPs actifs aient montré une asymétrie dans la force des ischiojambiers, leur impact ne semble pas s'étendre aux performances globales mesurées par des tests d'endurance, de vitesse et de saut. Cela suggère que les effets négatifs des RPs pourraient être spécifiques à certains aspects de la performance, sans influencer d'autres capacités athlétiques.

L'hypothèse émise est que la performance athlétique dépend d'une combinaison de caractéristiques morphologiques, physiologiques et motrices (Oloo Olutende et al., 2019), qui pourraient, dans un contexte standardisé sans contraintes externes, permettre l'utilisation d'un système de compensation.

3 Réflexes primitifs et incidence sur les compétences technico-tactiques

3.1 Objectifs et procédures

L'objectif de cette étude était double : d'une part, évaluer l'impact des RPs actifs sur les compétences techniques des joueurs de football lors des matchs de championnat, et d'autre part, analyser leurs compétences tactiques à partir de situations dynamiques de jeu en se basant sur le taux de réussite des passes effectuées à partir de différentes zones du terrain et des actions défensives lors des transitions défensives, respectivement. Cinquante-huit joueurs ayant participé au moins entre 3 à 9 matchs (270 à 810 minutes) pour l'évaluation des taux de réussite des compétences techniques spécifiques (CTa) et tactiques spécifiques (CTe) ont été inclus dans l'étude. Les caractéristiques des participants sont détaillées par activité globale des RPs et par poste dans le tableau 28, ainsi que par l'activité de chaque RP et par poste en annexe 3.

Tableau 28 Répartition des caractéristiques générales des participants par groupe et poste.

Postes	Group	N	Age (a)	Taille (cm)	Poids (kg)
Tous les postes	RPs intégrés	17	17,7 ± 1,5	178,8 ± 6,9	70,2 ± 7,3
	RPs actifs	42	17,6 ± 1,4	177,8 ± 6,0	68,8 ± 6,4
Milieux de terrain défensifs et offensifs, latéral et défenseur central	RPs intégrés	13	17,5 ± 1,3	178,5 ± 6,4	68,7 ± 6,2
	RPs actifs	29	17,8 ± 1,5	178,3 ± 6,7	69,5 ± 6,8
Milieux de terrain défensifs et offensifs, latérale, excentré et attaquant	RPs intégrés	32	17,9 ± 1,6	176,8 ± 7,1	69,0 ± 8,0
	RPs actifs	37	17,6 ± 1,5	176,6 ± 5,4	67,5 ± 5,5

Aucune différence significative n'a été signalée entre les groupes.

3.2 Résultats

3.2.1 Présentation des résultats: taux de réussite des compétences et activités globales des réflexes primitifs.

Les taux de réussite des compétences CTa et CTe dans les groupes avec RPs actifs et intégrés sont présentés en deux parties : 1) les taux de réussite des compétences technicotactiques en fonction de

l'activité globale des RPs actifs des joueurs et 2) les taux de réussite des compétences technicotactiques en fonction de l'activité de chaque RP actifs des joueurs.

3.2.1.1 Taux de réussite des compétences tactiques

Le taux de réussite des passes à l'intérieur ou en provenance de la zone d'attraction (ZA) n'a pas montré de différences significatives entre les deux groupes (figure 24). Cependant, le groupe avec RPs actifs présente un taux de réussite des passes effectuées dans la zone déséquilibre (ZD) et la zone de finition (ZF) inférieur de 15,5 % ($p \leq 0,01$; $d=0,87$) et 31,8 % ($p \leq 0,01$; $d=1,22$) respectivement (figure 25), par rapport au groupe avec RPs intégrés (figure 26).

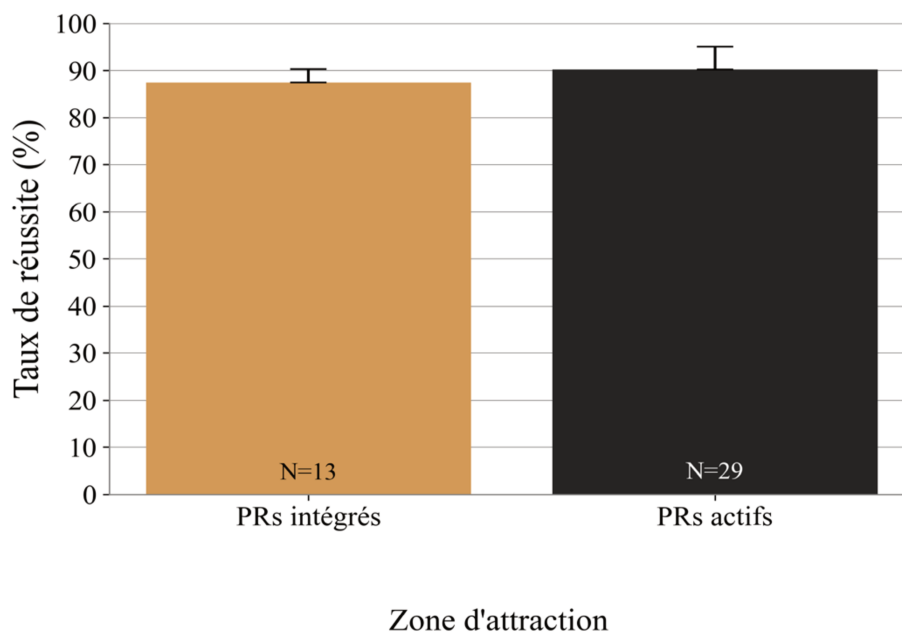
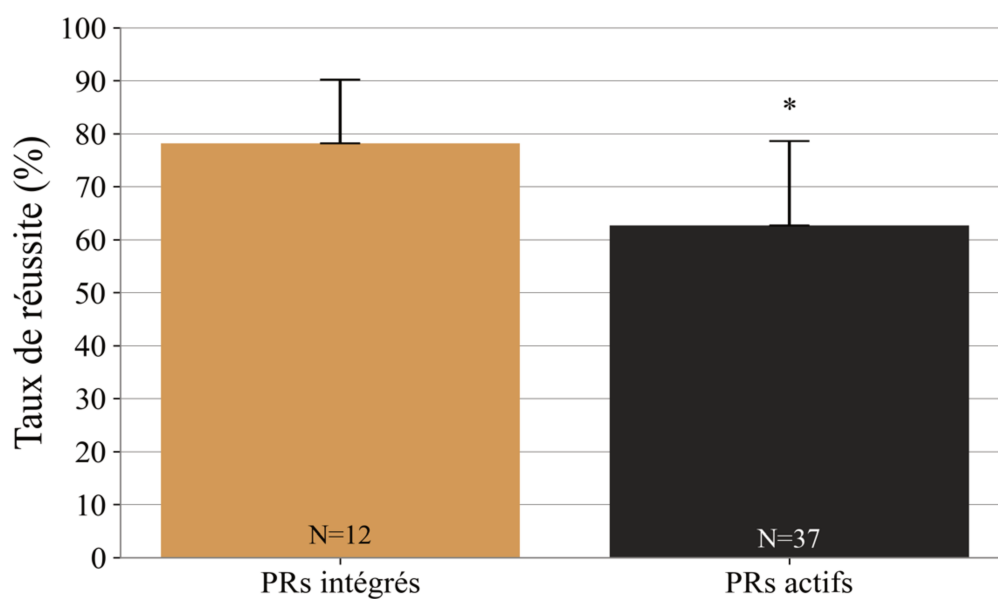
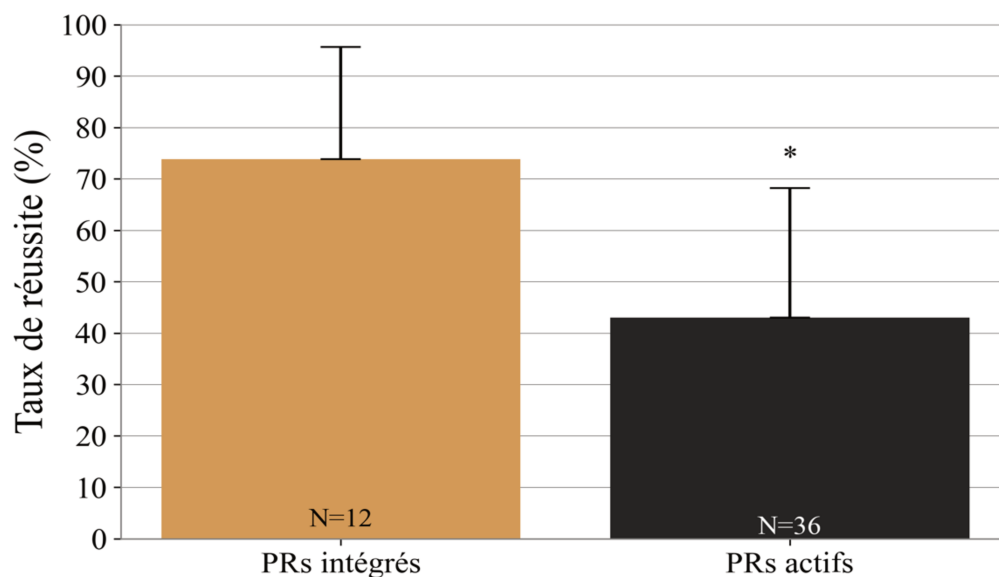


Figure 24 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes de RPs actifs et RPs intégrés dans les passes effectuées en zone d'attraction.



Zone de déséquilibre

Figure 25 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes de RPs actifs et RPs intégrés dans les passes effectuées en zone de déséquilibre.



Zone de finition

Figure 26 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes de RPs actifs et RPs intégrés dans les passes effectuées en zone de finition.

Pour les actions défensives, les mêmes tendances ont été observées, avec un taux de réussite moyen inférieur de

20,7 % ($p=0,01$; $d=0,94$) pour le groupe avec RPs actifs par rapport au groupe avec RPs intégrés (Figure 27).

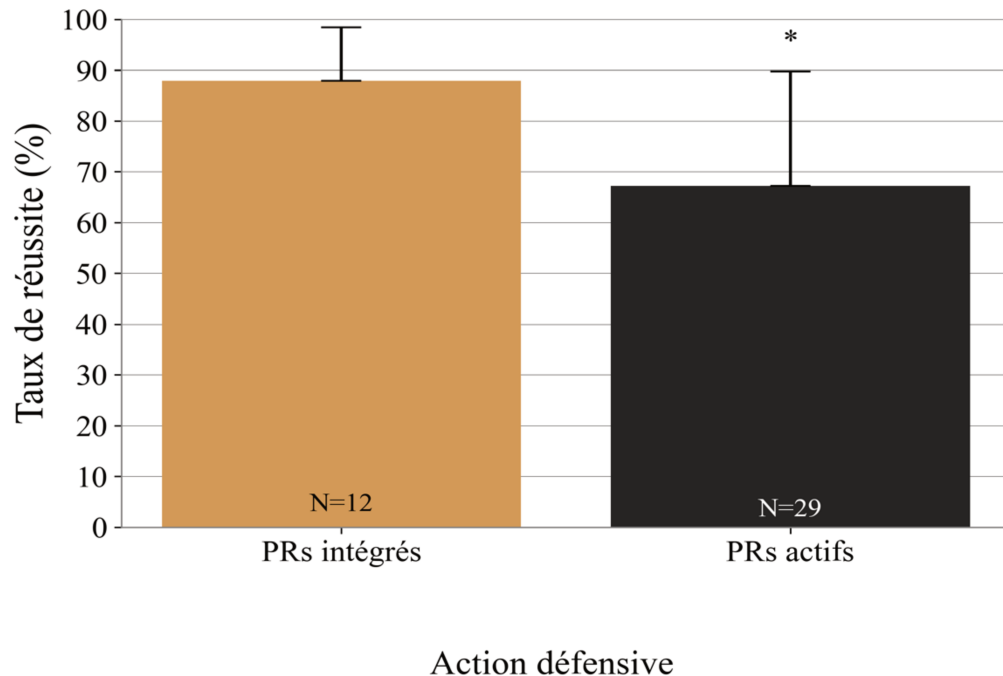


Figure 27 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes réflexes primitifs actifs et réflexes primitifs intégrés des actions défensives.

3.2.1.2 Taux de réussite des compétences techniques

Les résultats montrent que les taux de réussite moyens des compétences techniques (CTe) sont significativement plus faibles dans le groupe avec RPs actifs. Plus précisément, les duels au sol ont un taux de réussite inférieur de 34,2 % ($p=0,001$; $d=1,73$) et les duels aériens de 26,0 % ($p=0,01$; $d=0,90$) en moyenne (figure 28).

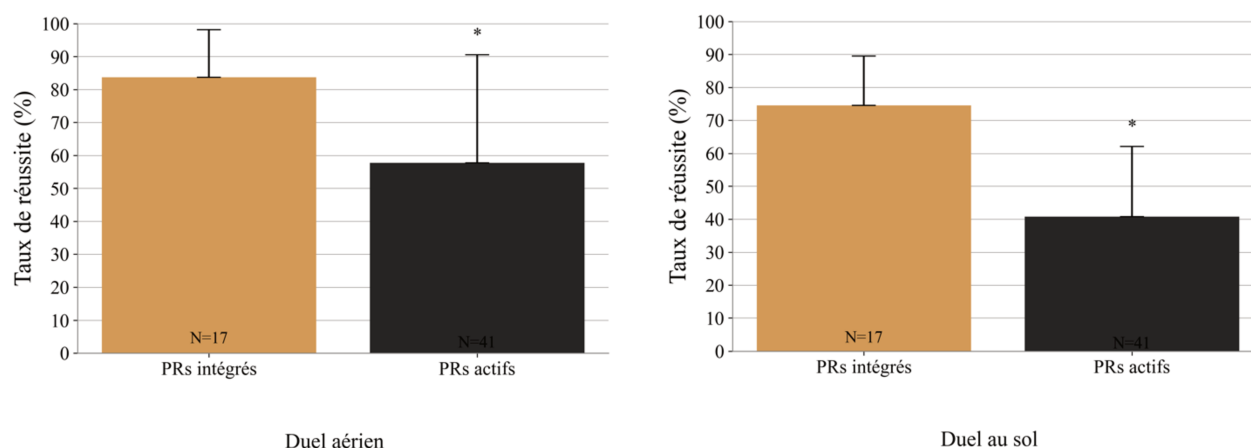


Figure 28 Analyse comparative des taux de réussite des compétences techniques entre les groupes réflexes primitifs actifs et réflexes primitifs intégrés des duels (aériens et au sol)

De même, le nombre de fautes pendant les matchs est plus élevé, avec une moyenne de 0,4 faute de plus par 100 minutes de temps de jeu pour le groupe avec RPs actifs. Soit trois fois plus de fautes commises en match pour 100 minutes de temps de jeu pour les joueurs ayant des RPs actifs ($p=0,02$; $d=-0.58$) (Figure 29).

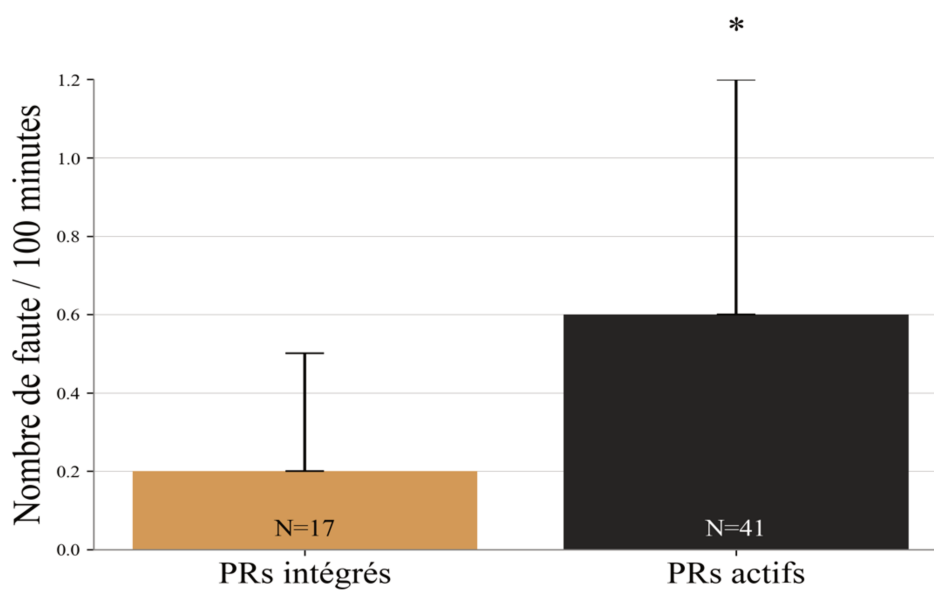


Figure 29 Analyse comparative des taux de réussite des compétences techniques entre les groupes réflexes primitifs actifs et réflexes primitifs intégrés des fautes commises par 100 minutes de temps de jeu.

3.2.2 Présentation des résultats : taux de réussite et activité des réflexes primitifs.

3.2.2.1 Taux de réussite des compétences tactique

Les taux de réussite de toutes les compétences tactiques sont présentés dans le tableau 29, en fonction de l'activité globale de chaque RPs testé. Les zones tactiques du terrain montrent des taux de réussite inférieurs lorsque les PR sont actifs. Dans les zones IZ et FZ, le taux de réussite moyen des passes est jusqu'à 34,8 % plus bas pour le RTAC dans la zone FZ ($p < 0,001$, $d = -1,48$) et réduit de près de 15 % dans la zone IZ ($p = 0,003$, $d = -1,09$) chez le groupe avec RPs actifs par rapport au groupe avec RPs intégrés. Spécifiquement, dans ces deux zones (IZ et FZ), trois des sept PRs testés montrent des taux de réussite inférieurs lorsqu'ils sont actifs : RTAC droit pour les deux zones, RM pour la FZ ($p < 0,01$, $d = -0,64$), et RTSC (dans les deux positions) pour l'IZ (EXT : $p < 0,05$, $d = -0,90$; FLX : $p < 0,05$, $d = -0,61$). En revanche, la zone AZ n'est pas une zone où les RPs actifs réduisent le taux de réussite des passes. Seul le RTSC en extension montre un taux de réussite plus élevé, avec une augmentation de 3,7 % pour le groupe avec RPs actifs.

Les actions défensives montrent des taux de réussite inférieurs chez les joueurs du groupe avec RPs actifs pour tous les PR testés (c'est-à-dire dans au moins une des positions de PR testées). Les taux de réussite sont significativement réduits, avec des baisses moyennes allant jusqu'à 25,5 % pour le RTL en extension ($p = 0,004$, $d = -1,41$), 17,1 % pour le RTAC droit ($p = 0,001$, $d = -0,72$), 14,8 % pour le RM ($p = 0,004$, $d = -0,64$), et 8,4 % pour le RTSC en extension ($p = 0,02$, $d = -0,35$).

Tableau 29 Le taux de réussite des compétences tactiques pour chaque RP. Comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés.

Variables	Groupe	RM	RTAC gauche	RTAC droit	RTSC extension	RTSC flexion	RTL extension	RTL flexion
Zone d'attraction (%)	RPs intégrés	88,9 ± 4,0	88,5 ± 4,4	87,4 ± 2,9	88,1 ± 4,1	89,0 ± 4,1	88,2 ± 3,4	88,1 ± 3,1
	RPs actif	90,4 ± 4,5	90,0 ± 4,4	92,2 ± 4,8	91,8 ± 4,2	89,9 ± 5,1	89,4 ± 4,5	90,1 ± 5,0
Zone de déséquilibre (%)	RPs intégrés	69,0 ± 16,6	67,5 ± 17,8	78,1 ± 12,1	72,4 ± 17,8	70,5 ± 16,6	75,3 ± 14,3	67,7 ± 17,4
	RPs actif	61,0 ± 15,3	65,7 ± 15,9	62,6 ± 16,0	59,0 ± 11,1	60,8 ± 14,9	65,4 ± 16,5	65,9 ± 16,4
Zone de finition (%)	RPs intégrés	56,4 ± 29,5	55,3 ± 30,3	74,8 ± 21,8	57,7 ± 27,6	51,5 ± 29,2	73,0 ± 28,3	62,2 ± 30,1
	RPs actif	40,0 ± 21,2	48,3 ± 26,5	40,0 ± 25,2	42,2 ± 26,4	52,2 ± 26,7	48,4 ± 27,0	47,1 ± 26,5
Actions défensives (%)	RPs intégrés	75,1 ± 25,3	72,2 ± 27,3	83,1 ± 24,6	74,1 ± 27,2	73,5 ± 25,6	93,9 ± 5,8	86,1 ± 11,5
	RPs actif	60,3 ± 20,7	69,6 ± 23,1	65,9 ± 23,4	65,7 ± 20,2	66,3 ± 23,2	68,5 ± 24,8	66,5 ± 27,3

*Les différences significatives entre les groupes RPs intégrés et RPs actifs ($p \leq 0,05$) sont indiquées en gras.

3.2.2.2 Taux de réussite des compétences techniques

Les taux de réussite de toutes les compétences techniques sont présentés dans le tableau 30, en fonction de l'activité globale des RPs. Les duels aériens montrent des taux de réussite significativement plus bas dans le groupe avec RPs actifs pour 6 des 7 PR testés. Le taux de réussite des duels aériens est en moyenne inférieur de 34,4 % lorsque le RTSC en extension est actif, et environ 20 % plus bas lorsque le RM, RTL en flexion, et RTSC en flexion sont actifs. Les duels au sol montrent des résultats similaires. Le taux de réussite est significativement plus faible pour chaque réflexe testé (c'est-à-dire dans au moins une des positions de PR testées) sauf pour le RTL (en extension et en flexion). Lorsque le réflexe RTAC à droite est actif, le taux de réussite est en moyenne inférieur de 34,2 % ($p < 0,001$, $d = -1,85$) pour le groupe avec RPs actifs, 24,5 % plus bas pour le RM ($p < 0,001$, $d = -1,13$), et 16,7 % plus bas pour le RTSC en extension ($p = 0,005$, $d = -0,71$). Le nombre de fautes pendant les matchs est significativement plus élevé dans le groupe avec RPs actifs uniquement lorsque 2 des 7 sont actifs. Le RM, lorsqu'il est actif, montre une augmentation moyenne de +0,6 faute ($p < 0,001$, $d = 1,11$), et le réflexe RTAC droit montre une augmentation moyenne de +0,4 faute ($p < 0,001$, $d = 0,84$) par 100 minutes de temps de jeu total.

Tableau 30 Le taux de réussite des compétences techniques pour chaque réflexe primitif. Comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés.

Variabiles	Groupe	RM	RTAC gauche	RTAC droit	RTSC extension	RTSC flexion	RTL extension	RTL flexion
Duel au sol (%)	RPs	57,9 ±	58,8 ±	74,9 ±	57,4 ±	54,2 ±	54,6 ±	60,7 ±
	intégrés	23,7	27,9	15,0	25,8	36,5	24,7	23,5
	RPs actif	33,4 ± 19,6	45,1 ± 21,6	40,7 ± 21,4	40,7 ± 20,8	45,0 ± 22,1	49,7 ± 25,2	46,6 ± 24,9
Duel aérien (%)	RPs	71,0 ±	73,1 ±	83,7 ±	78,9 ±	72,6 ±	74,6 ±	80,4 ±19,9
	intégrés	28,4	28,7	14,4	24,1	27,5	16,0	
	RPs actif	51,5 ± 33,2	59,8 ± 31,7	57,7 ± 32,8	44,5 ±2 8,9	53,4 ± 33,2	64,2 ± 32,1	59,0 ± 32,7
Faute commise (/100 min temps de jeu)	RPs							
	intégrés	0,3 ± 0,3	0,5 ± 0,6	0,2 ± 0,3	0,4 ± 0,5	0,4 ± 0,5	0,4 ± 0,6	0,5 ± 0,5
	RPs actif	0,9 ± 0,7	0,5 ± 0,5	0,6 ± 0,6	0,6 ± 0,7	0,6 ± 0,6	0,5 ± 0,6	0,5 ± 0,6

*Les différences significatives entre les groupes RPs intégrés et RPs actif ($p \leq 0,05$) sont indiquées en gras

3.3 Points clés

L'hypothèse initiale selon laquelle l'activité des RPs pourrait influencer les compétences technico-tactiques des joueurs de football a été validée. Les résultats montrent que l'activité des RPs impacte de manière significative la performance dans des situations de jeu exigeant précision, rapidité et coordination. En revanche, certaines observations spécifiques liées à des RPs particuliers, comme leur

influence différenciée selon les zones ou les types d'actions, représentent des découvertes inédites, enrichissant la compréhension du rôle des RPs dans les compétences tactiques et techniques des joueurs.

Impact global des RPs sur les compétences technico-tactiques :

- Les joueurs avec des RPs actifs affichent des taux de réussite significativement inférieurs dans les ZD et de finition, ainsi que dans les duels au sol et aériens, par rapport aux joueurs avec des RPs intégrés.
- L'impact des RPs est particulièrement marqué dans des zones nécessitant des réactions rapides, comme les passes en ZF et les actions défensives, où les différences de performance atteignent jusqu'à 34,8 %.

Effets spécifiques des RPs actifs :

1. RTSC en extension : Réduction de 19,1 % du taux de réussite des passes en ZD.
2. RTAC droit : Diminution jusqu'à 34,8 % du taux de réussite des passes en ZF.
3. RM : Impact sur toutes les compétences défensives (actions défensives, duels au sol et aériens) et diminution du taux de réussite dans la ZF, notamment à cause d'effets comme l'hypervigilance, le stress, la perte d'équilibre et la mauvaise coordination.
4. RTL : Moins impactant globalement, mais influence négative sur les actions défensives et les duels aériens. L'impact modéré pourrait être lié à son niveau d'activité généralement bas dans cette population.

Facteurs explicatifs et implications pratiques :

- Les effets des RPs sur les compétences technico-tactiques sont renforcés par leur rôle dans l'hypervigilance, le stress et les déséquilibres moteurs (Goddard, 1995; Rousseau et al., 2017).
- Le contexte et l'interaction entre différents RPs actifs influencent l'ampleur de leur impact sur la performance.

Ces résultats confirment l'importance de prendre en compte l'activité des RPs dans l'évaluation et le développement des compétences technico-tactiques, tout en ouvrant la voie à de nouvelles recherches sur l'interaction entre différents RPs et leurs niveaux d'activité.

Discussion générale

Dans cette thèse, nous avons étudié les relations entre les RPs actifs et divers aspects de la performance sportive chez les footballeurs âgés de 15 à 23 ans évoluant dans un centre de formation, en deux temps. La phase préliminaire qui a consisté à vérifier la prévalence de ces RPs ainsi que la répétabilité et la reproductibilité de l'échelle de l'INPP largement utilisé dans la littérature pour mesurer leurs activités. Elle s'est clôturée par une étude visant à observer les mouvements involontaires hors test spécifique mesurant l'activité des RPs lors de condition de tests athlétiques (sauts verticaux et course sur tapis). La phase d'observation a quant à elle consisté à tester les hypothèses selon lesquelles les RPs actifs auraient un impact négatif sur la performance des footballeurs. Nous avons choisi de nous concentrer sur les variables suivantes : l'incidence de blessure, les durées de réhabilitation, les capacités athlétiques et les compétences technico-tactiques.

1. Les résultats valident la persistance des RPs actifs chez les joueurs de foot ainsi que la reproductibilité et la répétabilité de l'échelle de l'INPP, renforçant ainsi sa fiabilité pour évaluer leur activité.
2. En revanche, aucune corrélation n'a été observée entre les mouvements involontaires similaires à l'activité des RPs et leur détection pendant les tests athlétiques, réfutant cette hypothèse.
3. De même, si les RPs actifs n'ont pas influencé les caractéristiques des blessures, ils ont été associés à des durées de réhabilitation prolongées.
4. Enfin, les RPs actifs ont démontré un impact négatif significatif sur les compétences technico-tactiques (CTa) et techniques (CTe), validant cette hypothèse.

Ces résultats confirment l'importance de mieux comprendre et gérer l'activité des RPs pour optimiser la performance chez les joueurs de football.

D'après nos résultats, deux tiers des joueurs testés durant les trois saisons de recherche ont des RPs actifs. Ainsi, un phénomène supposé temporaire dédié entre autres à un rôle de développement lors des premières années de vie s'avère être persistant à un âge plus avancé dans une partie de la population (Niklasson et al., 2015). Au-delà de la proportion des joueurs avec un ou des RPs actifs, il est important de souligner que l'activation des RPs est indépendante de l'âge des joueurs testés (entre 15 et 23 ans) ou du poste où évoluent les joueurs.

Nous avons fait le choix d'utiliser l'échelle INPP largement répandue en temps qu'outils de mesure de l'activité des RPs dans la littérature chez les enfants scolarisés en bonne santé. Parmi la littérature, des recherches visant à mesurer la reproductibilité et/ou la répétabilité d'échelle subjective ont également été menées afin de montrer l'élargissement de leur utilisation sur des populations différentes. Cette flexibilité dans l'utilisation observée dans l'étude de Terry et al. (2003) illustre que, bien que certaines

échelles soient conçues pour des contextes ou des populations spécifiques, elles peuvent conserver leur pertinence et leur fiabilité lorsqu'elles sont appliquées dans des contextes élargis ou différents. Nos résultats suggèrent que l'échelle INPP apparait comme un outil reproductible et répétable pour évaluer l'activité des RPs dans une population d'un centre de formation. En effet, nos résultats ont montré que le SG et l'activité des RPs, évalué à partir de l'échelle de l'INPP, présente une excellente répétabilité ($ICC = 0,96$, $IC = [0,93-0,97]$) et une bonne reproductibilité ($ICC = 0,89$, $IC = [0,84-0,92]$). Ces résultats sont supérieurs aux normes généralement admises pour les outils d'évaluation, qui considèrent un ICC supérieur à 0,70 comme acceptable. On retrouve parfois même, des valeurs d'ICC inférieures, allant jusqu'à 0,47 dans certaines études (van der Scheer et al., 2018). À titre de comparaison, une échelle subjective médicale utilisée pour évaluer la perception de l'effort ou le risque, telles que le score HEART ou la RPE, affichent un ICC global de 0,86 ($IC = [0,81-0,92]$) (Gershon et al., 2019). L'utilisation étendue des échelles subjectives est particulièrement intéressante lorsque son utilisation s'élargie cette fois-ci aux évaluateurs différenciant l'évaluateur expert d'un novice du champ d'application. Par exemple, sur des travaux menés sur la classification des critères de course de manière subjective (sur la méthode Volodalen®), montrent des coefficients de variation de $6,1 \pm 7,0$ % pour la fiabilité intra-évaluateur et de $6,6 \pm 6,5$ % pour la fiabilité inter-évaluateurs (Patoz A et al., 2019). Ces chiffres, obtenus même entre experts et novices, confirment que des échelles bien conçues peuvent atteindre une reproductibilité élevée et cohérente, même avec des utilisateurs de niveaux d'expérience variés. Ainsi, bien que des recherches supplémentaires soient nécessaires pour mesurer la validité de l'échelle par rapport à d'autre méthode de mesure d'activité des RPs, elle offre une possible mise en application par les différents intervenants de la performance sportive (préparateur physique, kinésithérapeute, médecin ou technicien).

Nos résultats ont montré qu'il n'existe pas de différence entre les groupes avec RPs actifs ou intégrés lorsqu'on examine les différentes catégories de blessures, telles que la localisation anatomique, la gravité ou le type de blessure. Cette absence de différence suggère que l'activité des RPs ne constitue probablement pas un facteur de prédisposition ou de risque de blessure. Toutefois, nous avons mis en évidence que cette persistance d'activité pourrait être un facteur limitant qui augmenterait le nombre de jours d'indisponibilité entre le moment de la blessure et la reprise des entraînements. Dans un contexte tel qu'un centre de formation, l'indisponibilité pour l'entraînement et donc par extension pour participer aux différentes compétitions pourrait être un frein dans le processus de professionnalisation des joueurs. En effet, les recherches menées dans une académie de football anglaise ont montré que les blessures ont entraîné en moyenne 21,9 jours d'absence par blessure, ce qui représente environ 6% du temps de développement perdu des joueurs (Price et al., 2004). L'effet négatif des blessures et des durées de réhabilitation ont d'autres incidences majeures sur l'équipe en termes de résultats mais aussi pour les structures au niveaux financiers (Eliakim et al., 2020). Finalement, les acteurs de la prise en charge des joueurs blessés pourraient avoir un outil simple permettant d'anticiper un potentiel freins à la reprise

des joueurs sur le terrain. Ce management des joueurs lors de ces phases de blessure est un moment délicat d'une carrière ou d'un processus de formation où la communication entre les pôles (médicale, technique et administrative) est importante pour optimiser la prise en charge (Bloch & Klein, 2024). L'inclusion des RPs dans ces stratégies de prévention est renforcée par des études montrant que des asymétries du tronc étaient positivement corrélées avec un RP actif (Gieysztor et al., 2018). Sachant que chez les jeunes enfants présentant une scoliose on observe une diminution de la stabilité posturale (Paramento et al., 2024) qui pourrait être liée à des RPs actifs. Ce lien, impliquant potentiellement une influence sur les habiletés motrices, est appuyé par plusieurs travaux (Gieysztor et al., 2017; McPhillips & Sheehy, 2004; McWhirter et al., 2024; Pecuch et al., 2021), bien qu'une étude directe reliant scoliose et habiletés motrices reste à établir.

A noter cependant que d'après nos résultats, les compétences athlétiques ne seraient pas diminuées chez les joueurs ayant des RPs actifs, contrairement aux compétences tactiques et techniques qui apparaissent fortement diminuées en présence de RPs. Ainsi, les causes d'un tel impact des RPs actifs dans des contextes bien particulier de compétition ou de réhabilitation montre qu'un environnement qui génère du stress ou sortant d'un quotidien d'entraînement (exemple : blessure, match officiel) prédispose les joueurs avec des RPs à une limitation de leur potentiel. Le concept de contrainte spatio-temporelle semble influencer la réussite des tâches durant les matchs. En effet, lorsque le temps disponible pour le traitement de l'information et de l'action est limité par le contexte du jeu, le taux de réussite est plus faible dans le groupe avec RPs actifs. A noter que dans la littérature, des associations significatives ont été trouvées entre les difficultés motrices, les RPs actifs et le fonctionnement psychosocial en raison de leurs liens émotionnels (Rousseau et al., 2017; Taylor et al., 2020). Étant donné que des facteurs psychologiques comme le stress et l'anxiété peuvent affecter gravement les compétences techniques et tactiques (Orosz & Mezo, 2015), il est concevable que la présence de RPs actifs qui contribuent à maintenir cet état d'urgence ou de fausse peur (Niklasson & Niklasson, 2022) soit l'un des facteurs qui diminue les compétences des joueurs. D'autant plus que le stress généré par la compétition peut parfois être contre-productif et diminuer les performances (Hanton et al., 2008). Ainsi, les phases de transition défensives, qui sont considérées comme des moments critiques pour la récupération du ballon ou la création d'opportunités de but (Garganta et al., 1997; Pollard & Reep, 1997) ou « une période très complexe à appréhender où peut jaillir beaucoup d'angoisse ou d'espoir, car les victoires ou les défaites dépendent souvent de la qualité de ces phases » (Fédération Française de Football, 2016), peuvent être des situations moins bien appréhendées et gérées par les joueurs présentant des RPs actifs.

Pour les CTe, la proximité avec l'adversaire semble jouer un rôle dans la capacité à réussir les duels (au sol et aérien) et les mêmes constats que les CTa peuvent être tirés : les contraintes spatio-temporelle élevées apparaissent comme un facteur qui diminue les compétences chez les joueurs avec des RPs actifs. L'une des hypothèses serait que ce contexte pourrait diminuer la coordination motrice des joueurs

limitant la bonne exécution des compétences techniques. Lors de l'analyse des pertes de balle pendant les matchs, Doucet (2002) a montré que les pertes de balle sont principalement causées par des fautes techniques, dont des mauvaises passes ou contrôles dans 50 % des cas, des erreurs provoquées par l'adversaire (hors-jeu, pressing -10%), des duels perdus (15 %), des interceptions (5 %), des fautes (infractions aux règles -12%) et des tirs non convertis en but (6 %). Seulement 0,5 à 1,5 se terminent par un but. Cela signifie qu'environ 73 % des pertes de balle sont liées à des compétences spécifiques telles que la qualité des passes, la réussite des duels et les fautes commises. Enfin, les RPs actifs pourraient jouer un rôle dans l'augmentation significative des fautes sifflées par l'arbitre. Leur activité pourrait perturber la coordination nécessaire à la gestion des actions en situation de proximité, notamment lors des interactions complexes entre le ballon, l'adversaire et le joueur. Ce lien, bien qu'hypothétique, pourrait s'expliquer par les effets des RPs actifs sur la fluidité motrice et la perception spatiale, augmentant ainsi les comportements maladroits ou les erreurs de jugement en situation de stress.

Enfin, il apparaît que l'introduction des tests évaluant la maturité du système nerveux central via les RPs dans le cadre du suivi des footballeurs pourrait être un atout majeur. Bien que les tests athlétiques classiques soient indispensables pour évaluer les capacités physiques et techniques (Sarmiento et al., 2018), ils ne révèlent pas toujours les subtilités neurophysiologiques susceptibles d'influencer la performance à long terme. Ceci est d'autant plus vrai que nos recherches montrent que les RPs actifs, bien que potentiellement perturbateurs, n'entraînent pas de différences significatives dans les résultats des tests athlétiques standardisés. Ces tests constitueraient une base pour des interventions ciblées, susceptibles de renforcer leurs compétences et de minimiser certains risques dans le contexte de blessure, notamment en réduisant les jours d'indisponibilité. Par ailleurs, il est crucial de considérer que le fait qu'un joueur fasse partie d'un centre de formation démontre qu'il a déjà pu performer à un niveau élevé malgré ces facteurs potentiellement limitants. Cela pourrait suggérer un potentiel de progression significatif une fois ces RPs mieux contrôlés ou intégrés. Ainsi, l'inclusion des tests de maturité du système nerveux central à travers l'activité des RPs pourrait offrir une nouvelle dimension au développement des joueurs en centre de formation. Cette approche permettrait de transformer une évaluation neurophysiologique potentiellement contraignante en un levier d'amélioration continue, aligné sur les objectifs de progression des athlètes. Les résultats seraient ainsi utilisés non pour exclure, mais pour mieux comprendre les marges de progression des joueurs et les accompagner dans leur développement vers l'excellence sportive.

Les investigations menées dans le cadre de ce projet de thèse doivent être interprétées en tenant compte de certaines limitations. Bien que les résultats obtenus apportent des éclairages précieux, plusieurs facteurs pourraient influencer leur portée et leur généralisation.

La première limite réside dans la spécificité de la population étudiée. En effet, l'échantillon de cette recherche est composé exclusivement de jeunes joueurs de football évoluant en centre de formation. Bien que ce choix permette une homogénéité dans les données et une grande pertinence pour ce groupe cible, il limite toutefois la généralisation des résultats à d'autres populations ou d'autre activité sportive. Les effets des RPs pourraient varier selon l'âge, le sexe, ou encore le niveau sportif (amateur, professionnel). Cette restriction invite à élargir les recherches à des groupes plus diversifiés afin d'évaluer la robustesse des résultats et leur applicabilité à d'autres contextes sportifs.

La seconde limite concerne l'absence, dans le cadre de cette thèse exploratoire, de protocoles spécifiques interventionnels visant à réduire l'activité des RPs. Bien que cette thèse se concentre sur l'évaluation de l'impact des RPs actifs, elle n'explore pas directement des approches concrètes pour leur intégration. Tester l'efficacité d'interventions neuromotrices ou sensorielles pourrait permettre de vérifier si une diminution de l'activité des RPs améliore les performances technico-tactiques et réduit la durée de réhabilitation. Cette lacune méthodologique représente une opportunité majeure pour des recherches futures, notamment dans le développement de solutions pratiques pour optimiser la prise en charge des athlètes.

Résumé des connaissances et implications pratiques

Point n°1 : Les RPs sont toujours actifs dans cette population. À noter que les jeunes joueurs surclassés sont apparus comme les plus susceptibles d'avoir une activité globale supérieure aux autres joueurs.

Implication pratique : leur persistance pourrait affecter subtilement la coordination motrice et la capacité d'adaptation en jeu, impactant ainsi la progression globale et le succès à long terme des joueurs. De plus, les résultats suggèrent d'avoir davantage une attention particulière chez les jeunes joueurs qui sont surclassés. Cet environnement apparaît propice à une activation plus élevée des RPs.

Point n°2 : l'échelle subjective INPP a été validée comme un outil reproductible pour évaluer l'activité des RPs dans un contexte sportif, permettant un suivi précis de la maturation neuromotrice des athlètes.

Implication pratique : cette échelle pourrait servir de référence pour suivre l'évolution des RPs au fil du temps, notamment dans le cadre de programmes de rééducation ou de développement des compétences motrices. La capacité à mesurer avec précision les niveaux d'activité des RPs peut également permettre de personnaliser les programmes d'entraînement pour chaque athlète, en identifiant les domaines nécessitant une intervention ciblée. Par ailleurs, l'utilisation de l'INPP pourrait être étendue à d'autres sports et à des populations variées pour explorer les différences intersportives et inter-populationnelles dans la prévalence et l'impact des RPs.

Point n°3 : les performances athlétiques ne sont pas inférieures chez les joueurs avec RPs actifs. De plus, dans les tests de saut (CMJ et DJ) et la course sur tapis, il est difficile de reconnaître des mouvements ressemblant à des mouvements involontaires créés par les RPs.

Implication pratique : l'activité des RPs est difficile à détecter en dehors des tests spécifiques. Les résultats montrent que, dans les tests physiques standards, les performances des joueurs ne diffèrent pas significativement en fonction de l'activité des RPs. Cette absence de différence suggère que les professionnels du sport (les entraîneurs et les préparateurs physiques) doivent être conscients des limitations des tests physiques traditionnels pour évaluer la performance des joueurs dans leur globalité. Ils devraient envisager l'intégration de tests neurophysiologiques spécifiques dans leur évaluation pour mieux identifier et traiter les impacts potentiels des RPs sur les jours d'indisponibilité après blessures et les compétences technico-tactiques, où des liens directs ont été observés.

Point n°4 : les joueurs avec des RPs actifs présentent des durées d'indisponibilité plus longues et nécessitent des réhabilitations plus prolongées que leurs homologues avec des RPs intégrés.

Implication pratique : Les équipes médicales et les préparateurs physiques devraient inclure des évaluations régulières des RPs dans leurs protocoles de suivi des athlètes. Ces évaluations pourraient permettre d'anticiper des potentielles réactivation des RPs, notamment après une blessure. Ainsi, un suivi post-blessure adapté aux spécificités neurophysiologiques des joueurs pourrait accélérer la réhabilitation, réduire les jours d'indisponibilité et limiter les récives.

Point n°5: l'activité des RPs est directement liée à une diminution des performances technico-tactiques, particulièrement dans des situations de jeu où la précision et la réactivité sont essentielles.

Implication pratique 1 : cette corrélation souligne la nécessité pour les entraîneurs et les équipes techniques d'intégrer des évaluations neurophysiologiques régulières dans leur suivi des athlètes. En détectant l'activité des RPs, ils peuvent proposer des protocoles d'intégration des RPs afin de corriger des stratégies plus ciblées pour optimiser la réactivité et la précision des joueurs sur le terrain.

Implication pratique 2 : Ces résultats mettent en lumière l'importance d'entraîner les joueurs à gérer des situations de stress élevé en simulant ces contraintes lors des séances d'entraînement. Les entraîneurs pourraient inclure des exercices spécifiques, comme des scénarios de jeu avec forte pression temporelle ou spatiale, pour renforcer les capacités adaptatives des joueurs.

Perspectives

1 Approfondissement des connaissances sur l'impact des RPs sur les sportifs

L'impact des RPs sur les sportifs reste un domaine de recherche sous-exploré, en particulier dans le contexte du sport de haut niveau. Les prochaines étapes pourraient inclure des recherches sur les effets spécifiques des RPs actifs sur différents systèmes sensoriels et leur rôle dans le traitement de l'information, la prise de décision, la résolution de problèmes, et la santé mentale.

1.1 Les réflexes primitifs actifs et le traitement de l'information sensorimotrice

Une analyse détaillée de l'effet des RPs actifs sur le système vestibulaire, visuel et proprioceptif pourrait offrir des éclairages sur la manière dont ces RPs actifs influencent la capacité d'un athlète à traiter rapidement les informations critiques pendant un match. Il serait utile de mener des recherches spécifiques pour comprendre comment les RPs actifs modifient la perception sensorielle des athlètes en situation de jeu. Par exemple, les études pourraient se concentrer sur la manière dont les RPs actifs affectent le temps de réaction visuel, la perception de la profondeur, et la coordination œil-main dans des sports exigeant une prise de décision rapide comme le tennis ou le basketball. Les RPs actifs pourraient également être étudiés en relation avec le système proprioceptif, en examinant leur rôle dans le maintien de l'équilibre et de la posture, deux éléments essentiels dans des sports comme la gymnastique ou le ski. L'interaction entre ces systèmes sensoriels et la réponse motrice des athlètes pourrait offrir des pistes pour optimiser les entraînements et améliorer la performance en situation de compétition.

1.2 Les réflexes primitifs actifs et les compétences cognitives

L'étude des RPs actifs dans le contexte sportif pourrait permettre de mieux comprendre leur influence sur la rapidité et l'efficacité de la prise de décision des athlètes en situation de jeu. Bien que l'impact direct des RPs actifs sur ces compétences spécifiques reste encore largement inexploré, il serait intéressant de réaliser des recherches en temps réel, où des athlètes seraient placés dans des situations de jeu simulées. L'objectif serait d'observer comment ces processus influencent leurs choix stratégiques, notamment dans des conditions où la pression cognitive est élevée. Par ailleurs, la capacité des athlètes à résoudre des problèmes tactiques complexes en temps réel, un aspect crucial pour des sports comme le football, pourrait également être affectée par les RPs actifs. Des études futures pourraient se concentrer sur la manière dont ces processus influencent l'anticipation des mouvements adverses, l'adaptation stratégique, et la prise de décision rapide. Des outils comme l'analyse vidéo et les simulations de match seraient essentiels pour évaluer ces impacts et affiner les stratégies d'entraînement.

Contrairement aux capacités cognitives spécifiques comme la prise de décision et la résolution de problème, l'impact des RPs actifs sur les capacités d'apprentissage a été davantage documenté dans la littérature scientifique (Goddard et al., 2009). Il a été démontré que les RPs actifs peuvent moduler l'acquisition de nouvelles compétences, ce qui suggère qu'ils jouent un rôle dans le processus d'apprentissage. Cela pourrait être particulièrement pertinent pour les jeunes athlètes en phase de développement, où l'intégration de techniques visant à influencer les RPs actifs pourrait améliorer l'efficacité des entraînements et favoriser un apprentissage plus rapide et durable.

1.3 Les réflexes primitifs actifs et la santé mentale

L'influence des RPs actifs sur la santé mentale des athlètes est une autre avenue de recherche importante. Des études pourraient explorer les liens entre la persistance des RPs et des facteurs comme le stress, l'anxiété, et la gestion des émotions en compétition. Il serait particulièrement pertinent d'examiner comment les RPs actifs interagissent avec les réponses au stress chez les athlètes de haut niveau. Par exemple, des recherches pourraient analyser si les RPs contribuent à une meilleure résilience psychologique ou, au contraire, s'ils exacerbent les symptômes de l'anxiété et du stress liés à la compétition. En outre, des études longitudinales pourraient explorer l'impact des RPs sur la santé mentale à long terme, en particulier dans des sports où la pression psychologique est intense et constante.

2 Analyse de l'intégration des réflexes primitifs dans les programmes d'entraînement

Une perspective prometteuse serait d'analyser plus en profondeur les protocoles d'intégration des RPs dans les programmes d'entraînement des jeunes athlètes. Cette approche permettrait d'évaluer comment des interventions spécifiques visant à inhiber les RPs actifs pourraient améliorer les compétences tactiques et techniques des joueurs. L'intégration systématique d'exercices neuromoteurs pourrait potentiellement réduire l'incidence des blessures et améliorer la performance globale, en particulier dans les contextes de haute pression où la rapidité d'exécution et la précision sont cruciales. En effet, l'analyse des effets des programmes d'intégration des RPs sur les compétences tactiques et techniques pourrait être approfondie à travers des études longitudinales. Ces études pourraient mesurer les améliorations spécifiques dans des domaines tels que la précision des passes, les taux des réussites des duels (aérien et au sol) et la gestion des transitions défensives et offensives.

Il serait également intéressant d'étudier comment l'intégration des RPs peut influencer la gestion de l'environnement de jeu, en particulier dans des situations dynamiques et imprévisibles. Cette analyse pourrait inclure des simulations de match pour évaluer les réactions des joueurs face à des pressions externes, et comment celles-ci sont modifiées par un entraînement ciblé sur les RPs

Conclusion générale

Nous avons rappelé au début de ce manuscrit que le football fait partie des sports avec une complexité élevée entre les compétences nécessaires pour performer. Ceci pour rappeler que ce sport exige bien plus que de simples aptitudes associées. La performance des joueurs repose sur une interaction complexe entre la coordination motrice, la maîtrise technique, la compréhension tactique du jeu, mais aussi la capacité à enchaîner les matchs à haute intensité. Chacune de ces dimensions joue un rôle essentiel sur le terrain ou dans la carrière d'un joueur.

Dans cette thèse, nous avons étudié l'influence des RPs actifs sur la performance sportive des joueurs de football, un sujet non exploré dans le domaine de la science. Nous avons intégré une perspective neurophysiologique à l'analyse traditionnelle de la performance. Ce travail a permis de mettre en lumière des corrélations significatives entre performance et RPs actifs. L'activité des RPs s'est révélée liée à divers aspects critiques de la pratique sportive, comme la réhabilitation post-blessure, la maîtrise technique et la compréhension tactique du jeu. Les résultats obtenus soulignent l'importance de considérer les RPs actifs non seulement comme des marqueurs de maturation neurophysiologique, mais également comme des facteurs pouvant potentiellement altérer la progression et l'efficacité des jeunes athlètes.

Une des contributions majeures de cette étude réside dans la démonstration que l'activité des RPs joue un rôle essentiel dans des situations de haute contrainte, notamment en influençant la précision et l'efficacité des actions technico-tactiques en contexte de pression élevée. Ces résultats mettent en lumière que, bien que les RPs actifs n'affectent pas directement les performances athlétiques dans des tests physiques standards, leur influence devient déterminante dans les scénarios où la prise de décision rapide et l'adaptation motrice sont cruciales, comme dans les phases de jeu sous forte opposition.

En outre, les joueurs ayant des RPs actifs ont présenté des durées de réhabilitation post-blessure significativement plus longues, des périodes prolongées d'indisponibilité, et des niveaux d'alerte médicale plus élevés. Ces observations soulignent l'importance d'une évaluation neurophysiologique approfondie pour anticiper et mieux gérer les risques de blessures, tout en optimisant la réintégration sur le terrain. La maîtrise des outils neurophysiologiques spécifiques pourrait transformer non seulement la gestion des blessures, mais aussi la préparation athlétique en ciblant les failles liées à l'activité résiduelle des RPs. En conclusion, cette étude invite à une refonte des protocoles d'entraînement et de

suivi, intégrant une approche neurophysiologique pour dépasser les limites actuelles de l'évaluation sportive. La prise en compte des RPs, négligée à ce jour, pourrait devenir un levier clé pour atteindre l'excellence sportive et ouvrir une nouvelle ère dans l'accompagnement des athlètes.

Références

- Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587–593. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0331>
- Ali, A. (2011). Measuring soccer skill performance: A review. In *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* (Vol. 21, Issue 2, pp. 170–183). <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01256.x>
- Amiel-Tison, C. (1968). Neurological Evaluation of the Maturity of Newborn Infants. *Archives of Disease in Childhood*, 43, 89–94.
- Arcilla, C. K., & Vilella, R. C. (2023). Tonic Neck Reflex. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559210/>
- Badakva, A. M., Miller, N. V., & Zobova, L. N. (2023). Integration of Vestibular, Visual and Proprioceptive Inputs in the Cerebral Cortex during Movement Control. *Fiziologija Cheloveka*, 49(2), 99–107. <https://doi.org/10.31857/S0131164622600422>
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match play in the elite soccer player. *Journal of Sport Science*, 24(7), 665–674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Bengtsson, H., Ekstrand, J., Waldén, M., & Häggglund, M. (2018). Muscle injury rate in professional football is higher in matches played within 5 days since the previous match: a 14-year prospective study with more than 130 000 match observations. *British Journal of Sports Medicine*, 52(17), 1116–1122. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2016-097399>
- Bioulac, B., Burbaud, P., Cazalets, J.-R., & Gross, C. (2005). Fonctions motrices. *EMC - Kinésithérapie*, 1(4), 183–233. <https://doi.org/10.1016/J.EMCKNS.2005.10.001>
- Bloch, H., & Klein, C. (2024). Injury prevention in football : A challenge for team doctors and coaching team. *Orthopédie*, 53(6), 420–426. <https://doi.org/10.1007/S00132-024-04503-9>
- Boes, C. J. (2014). The history of examination of reflexes. *Journal of Neurology*, 261(12), 2264–2274. <https://doi.org/10.1007/s00415-014-7326-7>
- Bogdanoviča, I., & Lāriņš, V. (2020). Case study of primitive reflexes impact on swimming skill acquisition by healthy children. *Undefined*, 6, 89. <https://doi.org/10.17770/SIE2020VOL6.5180>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), 161–170. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0208>
- Bozkurt, S., & Kucuk, V. (2018). Comparing of Technical Skills of Young Football Players According to Preferred Foot. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 6(1), 19–22. <https://doi.org/10.13189/saj.2018.060103>

- Brigo, F., Porro, A., & Trinka, E. (2022). The Moro reflex: insights into the pathophysiology of generalized tonic-clonic seizures and infantile spasms. *Epileptic Disorders*, 24 5(5), 1–5. <https://doi.org/10.1684/EPD.2022.1471>
- Bruckner, P. (2015). Hamstring injuries: prevention and treatment-an update. *British Journal of Sports Medicine*, 49(19), 1241–1244. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2014-094427>
- Buscemi, A., Mondelli, F., Biagini, I., Gueli, S., D’Agostino, A., & Coco, M. (2024). Role of Sport Vision in Performance: Systematic Review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/JFMK9020092>
- Bush, M., Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., & Bradley, P. S. (2015). Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. *Human Movement Science*, 39, 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.HUMOV.2014.10.003>
- Caetano, F. G., Silva, V. P. Da, Torres, R. D. S., Anido, R. D. O., Cunha, S. A., & Moura, F. A. (2019). Analysis of Match Dynamics of Different Soccer Competition Levels Based on the Player Dyads. *Journal of Human Kinetics*, 70(1), 173–182. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0030>
- Caicedo-Parada, S., Lago-Peñas, C., & Ortega-Toro, E. (2020). Passing networks and tactical action in football: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186649>
- Calvin, N., & Ramli, Y. (2020). Detecting neurodevelopmental problems using the simple parent-reported screening tool in combination with primitive reflex assessment. *Paediatrica Indonesiana(Paediatrica Indonesiana)*, 60(1), 31–36. <https://doi.org/10.14238/PI60.1.2020.31-6>
- Capute, A. J., Accardo, P. J., Vining, E. P. G., Rubenstein, J. E., Walcher, J. R., Harryman, S., & Ross, A. (1978). Primitive Reflex Profile. *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences: Annual Review*, 58(9), 1061–1065. <https://academic.oup.com/ptj/article-abstract/58/9/1061/4559921>
- Capute, A. J., Palmer, F. B., Wachtel, R., & Accardo, P. (1984). Primitive reflex profile: quantitation of primitive reflexes in infancy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 26, 375–383.
- Capute, A. J., Shapiro, B. K., Accardo, P. J., Wachtel, R. C., Ross, A., & Palmer, F. B. (1982). Motor Functions: Associated Primitive Reflex Profiles. *Develop. Med. Child Neurol*, 24, 662–669.
- Chinello, A., Di Gangi, V., & Valenza, E. (2018). Persistent primary reflexes affect motor acts: Potential implications for autism spectrum disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 83, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.07.010>
- Collings, T. J., Lima, Y. L., Dutailis, B., & Bourne, M. N. (2024). Concurrent validity and test-retest reliability of VALD ForceDecks’ strength, balance, and movement assessment tests. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27(8), 572–580. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2024.04.014>
- Delecroix, B. (2019). *Charge de travail et blessures dans le football de haut niveau*. Université du Droit et de la Santé - Lille II.

- Delvaux, F., Croisier, J. L., Carling, C., Orhant, E., & Kaux, J. F. (2023). La lésion musculaire des ischio-jambiers chez le footballeur. Partie 2 : stratégies de prévention lésionnelle. *Revue Medicale de Liege*, 78(4), 213–217.
- DeSilva, V., Caine, M., Skinner, J., Dogan, S., Kondoz, A., Peter, T., Axtell, E., Birnie, M., & Smith, B. (2018). Player tracking data analytics as a tool for physical performance management in football: A case study from chelsea football club academy. *Sports*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/sports6040130>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2016). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0624-8>
- Dyck, P. J., Boes, C. J., Mulder, D., Millikan, C., Windebank, A. J., James, P., Dyck, B., & Espinosa, R. (2005). History of standard scoring, notation, and summation of neuromuscular signs. A current survey and recommendation. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 10, 158–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1085-9489.2005.0010206.x>
- Edwards, C. W., & Khalili, Y. Al. (2023). Moro Reflex. *Encyclopedia of the Neurological Sciences*, 99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385157-4.01046-0>
- Eirale, C., Tol, J. L., Farooq, A., Smiley, F., & Chalabi, H. (2013). Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 807–808. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2012-091040>
- Ekstrand, J., Bengtsson, H., & Hallén, A. (2017). *Étude de l'UEFA sur les blessures dans les clubs d'élite, rapport sur la saison 2016/17*.
- Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011a). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1226–1232. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>
- Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011b). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(7), 553–558. <https://doi.org/10.1136/bjsem.2009.060582>
- Ekstrand, J., Sprepo, A., Bengtsson, H., & Bahr, R. (2021). Injury rates decreased in men's professional football: an 18-year prospective cohort study of almost 12 000 injuries sustained during 1.8 million hours of play. *Br J Sports Med*, 0, 1–9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103159>
- Eliakim, E., Morgulev, E., Lidor, R., & Meckel, Y. (2020). Estimation of injury costs: financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 6(1), e000675. <https://doi.org/10.1136/BMJSEM-2019-000675>
- Fédération Française de Football. (2023, November 14). *Les chiffres de la formation française*. <https://www.fff.fr/article/11353-les-chiffres-de-la-formation-francaise.html>
- Fédération Française de Football, & Ligue de football professionnel. (2023). *Efficacité des centres de formation 2022-2023*.

- Ferguson, J., Gibson, N. V., Weston, M., & McCunn, R. (2024). Reliability of Measures of Lower-Body Strength and Speed in Academy Male Adolescent Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 38(3), E96–E103. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004639>
- Fiorentino, M. R. (2014). *Normal and Abnormal Development: The Influence of Primitive Reflexes on Motor development* (Charles C Thomas, Ed.). Springfield.
- Franz, E. A., & Gillett, G. (2011). John Hughlings Jackson's evolutionary neurology: a unifying framework for cognitive neuroscience. *Brain*, 134(10), 3114–3120. <https://doi.org/10.1093/BRAIN/AWR218>
- Fuller, C. W., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T. E., Bahr, R., Dvorak, J., Häggglund, M., & Mccrory, P. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 40, 193–201. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.025270>
- Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Garganta, J., Maia, J., & Basto, F. (1997). Analysis of goal-scoring patterns in European top level soccer teams. *Science and Football*, 3, 246–250.
- Gershon, C. A., Yagapen, A. N., Lin, A., Yanez, D., & Sun, B. C. (2019). Inter-rater Reliability of the HEART Score. *Academic Emergency Medicine : Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine*, 26(5), 552–555. <https://doi.org/10.1111/ACEM.13665>
- Gieysztor, E., Choińska, A., & Paprocka-Borowicz, M. (2017). Persistence of primitive reflexes and associated motor problems in healthy preschool children. *Archives of Medical Science*, 14(1), 167–173. <https://doi.org/10.5114/AOMS.2016.60503>
- Gieysztor, E., Sadowska, L., & Choińska, A. (2017). The degree of primitive reflexes integration as a diagnostic tool to assess the neurological maturity of healthy preschool and early school age children. *Nursing and Public Health*, 7(1), 5–11. <https://doi.org/10.17219/pzp/69471>
- Gieysztor, E., Sadowska, L., Choińska, A. M., & Paprocka-Borowicz, M. (2018). Trunk rotation due to persistence of primitive reflexes in early school-age children. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 27(3), 363–366. <https://doi.org/10.17219/acem/67458>
- Goddard Blythe, S. (2015). *Neuromotor immaturity in children and adults. The INPP screening test for clinicians and health practitioners* (Wiley-blackwell, Ed.).
- Goddard, S. (1995). The role of primitive survival reflexes in the development of the visual system. *Journal of Behavioral Optometry*, 6(2), 31–35.
- Goddard, S., Beuret, L. J., & Blythe, P. (2009). *Attention, balance, and coordination : the A.B.C. of learning success* (Wiley- Blackwell, Ed.; 1st ed.).

- González, S. R., Ciuffreda, K. J., Hernández, L. C., & Escalante, J. B. (2008). The Correlation between Primitive Reflexes and Saccadic Eye Movements in 5th Grade Children with Teacher-Reported Reading Problems. *Optometry & Vision Development*, 39(3), 140–145.
- Gordon, M. B. (1929). The moro embrace reflex in infancy its incidence and significance. *American Journal of Diseases of Children*, 27–36. <http://archpedi.jamanetwork.com/>
- Gréhaigne, J. F., & Godbout, P. (1995). Tactical knowledge in team sports from a constructivist and cognitivist perspective. *Quest*, 47(4), 490–505. <https://doi.org/10.1080/00336297.1995.10484171>
- Grivas, T. B., Vasiliadis, E. S., Koufopoulos, G., Segos, D., Triantafyllopoulos, G., & Mouzakis, V. (2006). Study of trunk asymmetry in normal children and adolescents. *Scoliosis*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1748-7161-1-19/TABLES/7>
- Hägglund, M., Waldén, M., Magnusson, H., Kristenson, K., Bengtsson, H., & Ekstrand, J. (2013). Injuries affect team performance negatively in professional football: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 738–742. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2013-092215>
- Hanton, S., Neil, R., & Mellalieu, S. D. (2008). Recent developments in competitive anxiety direction and competition stress research. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 45–57. <https://doi.org/10.1080/17509840701827445>
- Hazzaa, N., Shalaby, A., Hassanein, S., Naeem, F., Khattab, A., & Metwally, N. (2021). assessment of balance functions and primitive reflexes in children with learning disability. *Ain Shams Medical Journal*, 72(1), 97–103. <https://doi.org/10.21608/ASMJ.2021.167357>
- Héros, S. (2022). *Les fondements cognitifs et sensibles de l'activité des footballeurs professionnels. Étude de la diversité interindividuelle lors des phases de jeu en lien avec les transitions défensives hautes* [Thèse de doctorat en Sciences du sport]. Université Clermont Auvergne.
- Hinneken, E., Barbu-Roth, M., Do, M. C., Berret, B., & Teulier, C. (2023). Generating variability from motor primitives during infant locomotor development. *ELife*, 12. <https://doi.org/10.7554/ELIFE.87463>
- Hrysomallis, C. (2011). Balance Ability and Athletic Performance. *Sport Medecin*, 41(3), 221–232.
- Illingworth, Ronald. S. (1987). *The development of the infant and young child: Normal and abnormal*. (9th ed.). Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Jiang, Z. ;, Hao, Y. ;, Jin, N. ;, Li, Y. A., Baran, J., Leszczak, J., Jiang, Z., Hao, Y., Jin, N., & Li, Y. (2022). A Systematic Review of the Relationship between Workload and Injury Risk of Professional Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 13237, 19(20), 13237. <https://doi.org/10.3390/IJERPH192013237>
- Kalemba, A., Lorent, M., Blythe, S. G., & Gieysztor, E. (2023). The Correlation between Residual Primitive Reflexes and Clock Reading Difficulties in School-Aged Children—A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph20032322>

- Kızılay, F., & Cengiz, D. U. (2023). A comparison of functional vestibulo-ocular reflex and proprioception in athletes of combat sports and ball sports. *Heliyon*, 9(7), e17540–e17540. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E17540>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Kraynik, Y., Mulik, V., & Lebediev, S. (2019). Performance indicators of the technical and tactical actions of young football players of 13-14 years of various game roles. *Science and Sport*, 7(5), 48–52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3596563>
- Kuiper, M. J., Brandsma, R., Lunsing, R. J., Eggink, H., ter Horst, H. J., Bos, A. F., & Sival, D. A. (2019). The neurological phenotype of developmental motor patterns during early childhood. *Brain and Behavior*, 9(1). <https://doi.org/10.1002/brb3.1153>
- Larruskain, J., Lekue, J. A., Martin-Garetxana, I., Barrio, I., McCall, A., & Gil, S. M. (2022). Injuries are negatively associated with player progression in an elite football academy. *Science and Medicine in Football*, 6(4), 405–414. <https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1943756>
- Layton, M., Taylor, J., & Collins, D. (2023). The measurement, tracking and development practices of English professional football academies. *Journal of Sports Sciences*, 41(18), 1655–1666. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2289758>
- Leger, L., & Boucher, R. (1980). An Indirect Continuous Running Multistage Field Test: The Université de Montreal Track Test*. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquées Au Sport*, 5, 77-8'.
- Leisman, G., Braun-Benjamin, O., & Melillo, R. (2014). Cognitive-motor interactions of the basal ganglia in development. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8(FEB), 72254. <https://doi.org/10.3389/FNSYS.2014.00016/BIBTEX>
- Lemes, I. R., Pinto, R. Z., Lage, V. N., Roch, B. A. B., Verhagen, E., Bolling, C., Aquino, C. F., Fonseca, S. T., & Souza, T. R. (2021). Do exercise-based prevention programmes reduce non-contact musculoskeletal injuries in football (soccer)? A systematic review and meta-analysis with 13 355 athletes and more than 1 million exposure hours. *British Journal of Sports Medicine*, 1170–1178. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103683>
- López-Valenciano, A., Ruiz-Pérez, I., Garcia-Gómez, A., Vera-Garcia, F. J., De Ste Croix, M., Myer, G. D., & Ayala, F. (2020). Epidemiology of injuries in professional football: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 54(12), 711–718. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099577>
- Loturco, I., Pereira, L. A., Kobal, R., Abad, C. C. C., Rosseti, M., Carpes, F. P., & Bishop, C. (2019). Do asymmetry scores influence speed and power performance in elite female soccer players? *Biology of Sport*, 36(3), 209–216. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2019.85454>

- Low, B., Coutinho, D., Gonçalves, B., Rein, R., Memmert, D., & Sampaio, J. (2020). A Systematic Review of Collective Tactical Behaviours in Football Using Positional Data. In *Sports Medicine* (Vol. 50, Issue 2, pp. 343–385). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01194-7>
- Marrus, N., Eggebrecht, A. T., Todorov, A., Elison, J. T., Wolff, J. J., Cole, L., Gao, W., Pandey, J., Shen, M. D., Swanson, M. R., Emerson, R. W., Klohr, C. L., Adams, C. M., Estes, A. M., Zwaigenbaum, L., Botteron, K. N., McKinstry, R. C., Constantino, J. N., Evans, A. C., ... Pruett, J. R. (2018). Walking, Gross Motor Development, and Brain Functional Connectivity in Infants and Toddlers. *Cerebral Cortex*, 28(2), 750–763. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx313>
- McCall, A., Carling, C., Davison, M., Nedelec, M., Le Gall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2015). Injury risk factors, screening tests and preventative strategies: a systematic review of the evidence that underpins the perceptions and practices of 44 football (soccer) teams from various premier leagues. *British Journal of Sports Medicine*, 49(9), 583–589. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2014-094104>
- McPhillips, M., Hepper, P., & Mulhern, G. (2000). Effects of replicating primary-reflex movements on specific reading difficulties in children: a randomised ,double-blind ,controlled trial. *The Lancet*, 355, 537–541.
- McPhillips, M., & Jordan-Black, J. A. (2007). Primary reflex persistence in children with reading difficulties (dyslexia): A cross-sectional study. *Neuropsychologia*, 45(4), 748–754. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.08.005>
- McPhillips, M., & Sheehy, N. (2004). Prevalence of persistent primary reflexes and motor problems in children with reading difficulties. *Dyslexia (Chichester, England)*, 10(4), 316–338. <https://doi.org/10.1002/DYS.282>
- McWhirter, K., Steel, A., & Adams, J. (2024). The association between learning disorders, motor function, and primitive reflexes in pre-school children: A systematic review. *Journal of Child Health Care : For Professionals Working with Children in the Hospital and Community*, 28(2), 402–428. <https://doi.org/10.1177/13674935221114187>
- Melillo, R., Leisman, G., Muallem, R., Ornai, A., & Carmeli, E. (2020). Persistent Childhood Primitive Reflex Reduction Effects on Cognitive, Sensorimotor, and Academic Performance in ADHD. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2020.431835>
- Miller-Dicks, M., Dicks, M., & Chow, J. Y. (2010). *A constraints-led approach to coaching association football: The role of perceptual information and the acquisition of coordination*. <https://www.researchgate.net/publication/340966798>
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sport Sciences*, 21, 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>

- Moitra, M., & Sharma, S. (2017). Effectiveness of Proprioceptive Training Programme on Joint Position Sense and Balance in Patients with Knee Osteo Arthritis- A Randomized Control Trial. *Journal of Disability Studies*, 1(3), 1–3. <http://pubs.iscience.in/jds>
- Montgomery, R., Nichols, C., Ornburn, C., Rudd, A., Williams, L., & Smith, B. (2015). The effects of persistent asymmetrical tonic neck reflex (ATNR) on reading scores in first and second grade children. *Graduate Research and Scholarly Projects*, 57. <https://soar.wichita.edu/handle/10057/11429>
- Multhauptff, W., Fernández-Peña, E., Moreno-Villanueva, A., Soler-López, A., Rico-González, M., Clemente, F. M., Bravo-Cucci, S., & Pino-Ortega, J. (2023). Concurrent-Validity and Reliability of Photocells in Sport: A Systematic Review. *Journal of Human Kinetics*, 92, 53–71. <https://doi.org/10.5114/JHK/174285>
- Newton, M., Owen, A. L., & Baker, J. S. (2019). Monitoring External and Internal Training Loads: Relationships with Injury Risk in Professional Soccer: A Review. *EC Orthopaedics*, 10(9), 686–697.
- Niklasson, M., & Niklasson, I. (2022). The Importance of an Early Suppression of the Moro Reflex. *Physical Medicine and Rehabilitation - International*, 9(2), 1200. <https://doi.org/10.1155/2012/191562>
- Niklasson, M., Rasmussen, P., Niklasson, I., & Norlander, T. (2015). Adults with sensorimotor disorders: Enhanced physiological and psychological development following specific sensorimotor training. *Frontiers in Psychology*, 6(APR). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00480>
- Oloo Olutende, M., Wanzala, M. N., Kadima Wamukoya, E., & Muchiri Wangui, A. (2019). Prognostic validity of morphological, physiological and motor characteristics in classifying university athletes in different sports. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 4(6), 38–44. www.kheljournal.com
- Orosz, R., & Mezo, F. (2015). Psychological factors in the development of football-talent from the perspective of an integrative sport-talent model. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 3(1), 58–76. <https://doi.org/10.17478/JEGYS.2015112018>
- Paramento, M., Passarotto, E., Maccarone, M. C., Agostini, M., Contessa, P., Rubega, M., Formaggio, E., & Masiero, S. (2024). Neurophysiological, balance and motion evidence in adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review. *PLOS ONE*, 19(5), e0303086. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0303086>
- Parr, C., Routh, D. K., Byrd, M. T., & McMillan, J. (2008). A developmental study of the asymmetrical tonic neck reflex. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 16(3), 329–335. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8749.1974.TB03343.X>
- Patoz A, Gindre, C., & Lussiana T. (2019). Intra and Inter-rater Reliability of the Volodalen ® Scale to Assess Aerial and Terrestrial Running Forms. *Journal of Athletic Enhancement*, 8(2).

- Payne, V. G., & Isaacs, L. D. (2020). Human Motor Development: A Lifespan Approach, 10th Edition. *Human Motor Development: A Lifespan Approach, 10th Edition*, 1–556. <https://doi.org/10.4324/9780429327568>
- Pecuch, A., Gieysztor, E., Wolańska, E., Telenga, M., & Paprocka-Borowicz, M. (2021). Primitive reflex activity in relation to motor skills in healthy preschool children. *Brain Sciences*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/BRAINSCI11080967>
- Pecuch, A., Kołcz-Trzęsicka, A., Żurowska, A., & Paprocka-Borowicz, M. (2018). Psychomotor disorders assesment in 4–6 year-old children with INPP test battery. *Nursing and Public Health*, 8(1), 11–20. <https://doi.org/10.17219/pzp/75487>
- Pérez-Gómez, J., Adsuar, J. C., Alcaraz, P. E., & Carlos-Vivas, J. (2022). Physical exercises for preventing injuries among adult male football players: A systematic review. *Journal of Sport and Health Science*, 11(1), 115. <https://doi.org/10.1016/J.JSHS.2020.11.003>
- Pollard, R., & Reep, C. (1997). Measuring the Effectiveness of Playing Strategies at Soccer. *Journal of the Royal Statistical Society Series D: The Statistician*, 46(4), 541–550. <https://doi.org/10.1111/1467-9884.00108>
- Portillo, J., Abián, P., Calvo, B., Paredes, V., & Abián-Vicén, J. (2020). Effects of muscular injuries on the technical and physical performance of professional soccer players. *Physician and Sportsmedicine*, 1–5. <https://doi.org/10.1080/00913847.2020.1744485>
- Price, R. J., Hawkins, R. D., Hulse, M. A., & Hodson, A. (2004). The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 466–471. <https://doi.org/10.1136/BJSM.2003.005165>
- Priot, A.-E. (2005). *Perception du mouvement propre: contributions des différentes modalités sensorielles et applications en ergonomie cognitive* [Université de Rouen]. <https://theses.hal.science/tel-00685781>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W., LaMantia, A.-S., White, L., Coquery, J.-M., Tajeddine, N., & Gailly, P. (2019). *Neurosciences* (6th ed.). DE BOECK SUP. <https://www.amazon.fr/Neurosciences-George-J-Augustine/dp/2807314929>
- Rašić Canevska, O. (2019). Persistence of primitive reflexes and associated problems in children. *Годишен Зборник На Филозофскиот Факултет/The Annual of the Faculty of Philosophy in Skopje*, 72, 513–522. <https://doi.org/10.37510/GODZBO1972513RC>
- Rousseau, P. V., Matton, F., Lecuyer, R., & Lahaye, W. (2017). The Moro reaction: More than a reflex, a ritualized behavior of nonverbal communication. *Infant Behavior and Development*, 46, 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2017.01.004>
- Sabarit, A., Reigal, R. E., Morillo-Baro, J. P., de Mier, R. J. R., Franquelo, A., Hernández-Mendo, A., Falcó, C., & Morales-Sánchez, V. (2020). Cognitive functioning, physical fitness, and game performance in a sample of adolescent soccer players. *Sustainability (Switzerland)*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/su12135245>

- Saragiotto, B. T., Yamato, T. P., Hespanhol Junior, L. C., Rainbow, M. J., Davis, I. S., & Lopes, A. D. (2014). What are the main risk factors for running-related injuries? *Sports Medicine*, 44(8), 1153–1163. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0194-6>
- Sarmiento, H., Anguera, M. T., Pereira, A., & Araújo, D. (2018). Talent Identification and Development in Male Football: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(4), 907–931. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0851-7>
- Schmitz, B., Pfeifer, C., Kreitz, K., Borowski, M., Faldum, A., & Brand, S. M. (2018). The Yo-Yo intermittent tests: A systematic review and structured compendium of test results. *Frontiers in Physiology*, 9(JUL), 343642. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2018.00870/BIBTEX>
- Schwellnus, M., Soligard, T., Alonso, J. M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T. J., Gleeson, M., Hägg, M., Hutchinson, M. R., Van Rensburg, C. J., Meeusen, R., Orchard, J. W., Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1043–1052. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096572>
- Shaikh, A. G., Zee, D. S., Taube, J., & Kheradmand, A. (2019). Visual-vestibular interactions. *Multisensory Perception: From Laboratory to Clinic*, 201–219. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812492-5.00009-7>
- Sherrington, C. S. (1910). Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex, and reflex stepping and standing. *The Journal of Physiology*, 40(1–2), 28–121. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1910.sp001362>
- Sing, G. C., Joiner, W. M., Nanayakkara, T., Braynov, J. B., & Smith, M. A. (2009). Primitives for Motor Adaptation Reflect Correlated Neural Tuning to Position and Velocity. *Neuron*, 64(4), 575–589. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.10.001>
- Suarez-Arrones, L., de Villarreal, E. S., Núñez, F. J., Di Salvo, V., Petri, C., Buccolini, A., Maldonado, R. A., Torreno, N., & Mendez-Villanueva, A. (2018). In-season eccentric-overload training in elite soccer players: Effects on body composition, strength and sprint performance. *PLoS ONE*, 13(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205332>
- Takagi, K., Tokita, T., Miyata, H., Ohno, M., & Yamada, T. (1991). Labyrinthine and Proprioceptive Regulation of Upright Standing Posture. *Equilibrium Research*, 50(2), 169–174. <https://doi.org/10.3757/JSER.50.169>
- Taylor, B., Hanna, D., & McPhillips, M. (2020). Motor problems in children with severe emotional and behavioural difficulties. *British Journal of Educational Psychology*, 90(3), 719–735. <https://doi.org/10.1111/BJEP.12327>
- Terry, P. C., Lane, A. M., & Fogarty, G. J. (2003). Construct validity of the Profile of Mood States - Adolescents for use with adults. *Psychology of Sport and Exercise*, 4(2), 125–139. [https://doi.org/10.1016/S1469-0292\(01\)00035-8](https://doi.org/10.1016/S1469-0292(01)00035-8)

- UEFA. (2023). *Rapport financier de l'UEFA 2022/23*.
- van der Scheer, J. W., Hutchinson, M. J., Paulson, T., Martin Ginis, K. A., & Goosey-Tolfrey, V. L. (2018). Reliability and Validity of Subjective Measures of Aerobic Intensity in Adults With Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *PM and R*, 10(2), 194–207. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2017.08.440>
- Waldén, M., Hägglund, M., Magnusson, H., & Ekstrand, J. (2016). ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 744–750. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2015-095952>
- Weir, M. S., & Lewis, M. (1886). The tendon-jerk and muscle-jerk in disease, and especially in posterior sclerosis. *Am J MedSci* 92:363–372. *American Journal of Medicine Science*, 92, 364–372.
- West, S. A. W., Clubb, J., Torres-Ronda, L., Howells, D., Leng, E., Vescovi, J. D., Carmody, S., Posthumus, M., Dalen-Lorentsen, T., Windt, J., & West, S. (2021). More than a Metric. *International Journal of Sports Medicine*, 42, 300–306. <https://doi.org/10.1055/a-1268-8791>
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 657–667. <https://doi.org/10.1080/02640410050120041>
- Wilson, R. S., Smith, N. M. A., Santiago, P. R. P., Camata, T., de Paula Ramos, S., Caetano, F. G., Cunha, S. A., de Souza, A. P. S., & Moura, F. A. (2018). Predicting the defensive performance of individual players in one vs. One soccer games. *PLoS ONE*, 13(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209822>
- Yılmaz, O., Soylu, Y., Erkmen, N., Kaplan, T., & Batalik, L. (2024). Effects of proprioceptive training on sports performance: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/S13102-024-00936-Z>
- Zafeiriou, D. I. (2004). Primitive reflexes and postural reactions in the neurodevelopmental examination. In *Pediatric Neurology* (Vol. 31, Issue 1, pp. 1–8). <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2004.01.012>
- Zafeiriou, D. I., Tsikoulas, I. G., & Kremenopoulos, G. M. (1995). Prospective follow-up of primitive reflex profiles in high-risk infants: Clues to an early diagnosis of cerebral palsy. *Pediatric Neurology*, 13(2), 148–152. [https://doi.org/10.1016/0887-8994\(95\)00143-4](https://doi.org/10.1016/0887-8994(95)00143-4)
- Zielińska, M., & Goddard Blythe, S. (2020). School functioning of students with neuromotor immaturity. *International Journal of Pedagogy, Innovation and New Technologies*, 7(2), 40–46. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.6864>
- Zsarnoczky-Dulhazi, F., Hegedus, A., Soldos, P., Trzaskoma, L., & Kopper, B. (2022). Effect of sports background on the visual and vestibular signal processing abilities of athletes. *Science and Sports*, 37(8), 798.e1-798.e6. <https://doi.org/10.1016/J.SCISPO.2021.12.005>

Listes des publications et communications

Publications dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture

1. Bastiere J, Lussiana T, Young D, Gindre C and Mourot L (2024) Persistence and activity levels of primitive reflexes in young high-level football players. *Front. Sports Act. Living* **6**: 1409257. doi: 10.3389/fspor.2024.1409257
2. Bastiere J, Lussiana T, Patoz A Gindre C and Mourot L (2024), Active primitive reflexes obstruct tactical and technical skills in football players. *Journal sports of sciences*

En cours de publication

3. Bastiere J, Lussiana T, Subryan M, Gindre C and Mourot L (2024) Reliability of the Institute for NeuroPhysiological Psychology Primitive Reflex Measurement in Football Players: Intra-Inter Rater Analysis.

Communication dans des congrès internationaux

1. Conférence internationale “Isokinetic medical group” (Londres). Présentation oral (Poster) : Persistence and activity levels of primitive reflexes in young high-level. **Mai 2023**
2. Congrès jeune chercheur (Besançon) Présentation oral (présentation) : Prévalence et impact des RPs actif chez le joueur de football. **Juin 2023**
3. ACAPS (Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive). Présentation oral (présentation) : Les compétences techniques et tactiques dictées par les demandes du jeu ou par les contraintes du joueur ? **Novembre 2023**

Autres communications

1. Congrès ANRT Sport et Innovation : considérer les datas, les technologies au service de l'apprentissage, la santé et le bien-être comme des enjeux de performances ». (INF Clairefontaine) : Réflexes chez les jeunes footballeurs : quelles prévalences ? **Juin 2023**
2. Webinaire Volodalen en co-présentation avec *Cyrille Gindre*. Mise en lumière sur le sujet de thèse et présentation des premiers résultats. <https://www.youtube.com/watch?v=NcWMu8UJ9Ps>. **Juillet 2023**
3. Invité Podcast LaboRPN Les RPs dans le domaine sportif, il y a-t-il des études scientifiques? Janvier 2023

Liste des figures

Figure 1 Répartition mensuelle des blessures survenues à l'entraînement (colonnes bleues) et taux de blessures à l'entraînement (colonnes rouges) au cours de la saison (rapport UEFA (2017)).....	21
Figure 2 Schéma simplifié des structures du tronc cérébral	24
Figure 3 Classification des principaux réflexes primitifs, posturaux et de vie	28
Figure 4 Image du nourrisson lorsque le RTAC (gauche) est actif.....	29
Figure 5 Image du nourrisson lorsque le RTSC est actif : en extension à gauche ; en flexion à droite.	30
Figure 6 Image du nourrisson lorsque le Moro est activé.....	31
Figure 7 Image du nourrisson lorsque le RTL est actif : en flexion à gauche ; en extension à droite.	32
Figure 8 Schéma Simplifié du système nerveux central : structures clés dans la régulation des RPs et la coordination motrice	33
Figure 9 Interaction des systèmes sensoriels dans le contrôle moteur.....	34
Figure 10 Schéma simplifié du système nerveux central et du traitement des informations sensorimotrices.....	35
Figure 11 Processus de sélection des articles pour la revue de littérature sur les réflexes primitifs	37
Figure 12 Représentation de la distribution de la revue de littérature sur les réflexes (primitifs, posturaux et de vies).....	38
Figure 13 Réflexes primitifs actifs et contrôle moteur : mécanismes neurophysiologiques et potentielle implication de la perturbation de l'action motrice par les réflexes primitifs.....	41
Figure 14 Représentation du test du RTAC	47
Figure 15 Représentation du test du RTSC.....	48
Figure 16 Représentation du test du RM.....	49
Figure 17 Représentation du test du RTL	49
Figure 18 Distribution du score global des joueurs de football	57
Figure 19 Distribution du score global des joueurs de football en fonction de leurs postes.....	59
Figure 20 Distribution du score global des joueurs de football en fonction de leurs années de naissances	59

Figure 21 Distribution des scores globaux des joueurs basée sur l'évaluation des niveaux des réflexes primitifs intra-évaluateur.	61
Figure 22 Distribution des scores globaux des joueurs basée sur l'évaluation des niveaux des réflexes primitifs intra-évaluateur.	63
Figure 23 Comparaison des nombres de jours de réhabilitation par étapes en fonction de l'activité globale des réflexes primitifs.....	75
Figure 24 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes de RPs actifs et RPs intégrés dans les passes effectuées en zone d'attraction.....	85
Figure 25 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes de RPs actifs et RPs intégrés dans les passes effectuées en zone de déséquilibre.	86
Figure 26 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes de RPs actifs et RPs intégrés dans les passes effectuées en zone de finition.....	86
Figure 27 Analyse comparative des taux de réussite des compétences tactiques entre les groupes réflexes primitifs actifs et réflexes primitifs intégrés des actions défensives.	87
Figure 28 Analyse comparative des taux de réussite des compétences techniques entre les groupes réflexes primitifs actifs et réflexes primitifs intégrés des duels (aériens et au sol).....	88
Figure 29 Analyse comparative des taux de réussite des compétences techniques entre les groupes réflexes primitifs actifs et réflexes primitifs intégrés des fautes commises par 100 minutes de temps de jeu.	88

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données athlétiques moyennes	16
Tableau 2 Facteurs de risque et impacts sur les blessures chez les footballeurs professionnels	18
Tableau 3 Incidence et durée moyenne d'indisponibilité des blessures des membres inférieurs chez les footballeurs (Lemes et al., 2021; Pérez-Gómez et al., 2022)	20
Tableau 4 Échelle de notation de l'activité du réflexe tonique asymétrique du cou	47
Tableau 5 Échelle de notation de l'activité du réflexe tonique symétrique du cou	48
Tableau 6 Échelle de notation de l'activité du réflexe de Moro	49
Tableau 7 Échelle de notation de l'activité du Réflexe tonique labyrinthique	50
Tableau 8 Classification des groupes par activité des réflexes primitifs et score global	50
Tableau 9 Distribution des joueurs selon leurs années de naissance	56
Tableau 10 Distribution des joueurs selon leurs postes de jeu	56
Tableau 11 Distribution des joueurs selon les groupes de sur classements	57
Tableau 12 Distribution des niveaux d'activité des réflexes primitifs	58
Tableau 13 Répartition du score global par rapport aux joueurs de football surclassés.	60
Tableau 14 Statistique descriptive et de fiabilité liées aux valeurs des tests INPP inter-évaluateur.	62
Tableau 15 Statistique descriptive et de fiabilité liées aux valeurs des tests INPP inter-évaluateur.	63
Tableau 16 Statistique de fiabilité liés aux valeurs des tests INPP inter-évaluateurs entre chaque évaluateur.	64
Tableau 17 Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité globale des réflexes primitifs.....	67
Tableau 18 Ratio de Blessures en Fonction de l'Activité Globale et des RPs	70
Tableau 19 Distribution des proportions de blessures en fonction des critères de localisation des blessures et de l'activité des RPs	72
Tableau 20 Distribution des proportions de blessures en fonction des critères de la gravité des blessures et de l'activité des RPs	73
Tableau 21 Distribution des proportions de blessures en fonction des critères du types des blessures et de l'activité des RPs	73
Tableau 22 Distribution des proportions de blessures en fonction de l'environnement des blessures et de l'activité des RPs	74

Tableau 23 Comparaison des nombres de jours de réhabilitation par étapes en fonction de l'activité des réflexes primitifs	78
Tableau 24 Comparaison des niveaux d'alerte en fonction de l'activité des réflexes primitifs.....	79
Tableau 25 Résultats obtenue aux tests de course (endurance et vitesse): comparaison des groupes de RPs actifs et de réflexes primitifs intégrés	81
Tableau 26 Résultats obtenue aux tests de sauts et l'asymétrie jambe droite-gauche sur la force développée : comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés	81
Tableau 27 Asymétrie jambe droite-gauche sur la force développée lors des tests de force (Ischiojambiers et Adducteur/abducteur): comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés	82
Tableau 28 Répartition des caractéristiques générales des participants par groupe et poste.	84
Tableau 29 Le taux de réussite des compétences tactiques pour chaque RP. Comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés.	89
Tableau 30 Le taux de réussite des compétences techniques pour chaque réflexe primitif. Comparaison des groupes de réflexes primitifs actifs et de réflexes primitifs intégrés.....	90

Annexes

Annexe 1 Résultats des Critères d'observation notés pendant les tests athlétiques (CMJ, DJ et course sur tapis).

A 1.A Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RTAC droit.

CMJ TEST	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p-value
	Abduction des bras saccadée	0,9 ± 1,0	0,6 ± 0,9	0,24
	Déséquilibre avant à la réception	0,1 ± 0,5	0,1 ± 0,5	0,94
	Déséquilibre arrière à la réception	0,8 ± 0,8	0,7 ± 0,9	0,64
	Réception avec décalage sur la gauche	0,1 ± 0,5	0,4 ± 0,7	0,19
	Réception avec décalage sur la droite	0,4 ± 0,7	0,2 ± 0,5	0,27
	Hyperextension durant le saut	1,1 ± 0,9	1,1 ± 0,9	0,89
	Flexion du tronc durant le saut	0,1 ± 0,5	0,0 ± 0,0	0,18
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,28
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,4 ± 0,7	0,1 ± 0,3	0,06
DJ test	Extension de la tête	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,4	0,16
	Flexion de la tête	0,5 ± 0,8	0,3 ± 0,6	0,3

DJ test	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p-value
	Abduction des bras saccadée	0,5 ± 0,8	0,3 ± 0,7	0,55
	Déséquilibre avant à la réception	0,5 ± 0,8	0,6 ± 0,9	0,64
	Déséquilibre arrière à la réception	0,4 ± 0,7	0,3 ± 0,6	0,68
	Stress au test/Hésitation	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,44
	Réception avec décalage sur la gauche	0,4 ± 0,6	0,1 ± 0,3	0,08
	Réception avec décalage sur la droite	0,4 ± 0,7	0,4 ± 0,7	0,85
	Hyperextension durant le saut	0,7 ± 0,8	0,6 ± 0,9	0,72
	Flexion du tronc durant le saut	0,3 ± 0,6	0,2 ± 0,5	0,62
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,29
Course	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,2 ± 0,5	0,0 ± 0,2	0,31
	Extension de la tête	0,2 ± 0,6	0,1 ± 0,4	0,36
	Flexion de la tête	0,9 ± 0,8	0,7 ± 0,8	0,33

Course	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p-value
	Déséquilibre avant	0,7 ± 0,7	0,6 ± 0,7	0,59
	Décalage sur la gauche	0,7 ± 0,9	0,5 ± 0,9	0,34
	Décalage sur la droite	0,7 ± 0,8	0,5 ± 0,8	0,35
	Course en "Zig Zag"	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,5	0,27
	Flexion du tronc durant la course	1,0 ± 0,9	0,9 ± 0,8	0,84
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,9 ± 0,9	0,6 ± 0,8	0,16
	Pouce en l'air	1,1 ± 0,9	1,1 ± 0,9	0,94
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,5 ± 0,7	0,5 ± 0,6	0,66

Déséquilibre frontal (ondulation avant/arrière)	0,5 ± 0,5	0,5 ± 0,5	0,58
---	-----------	-----------	------

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 1.B Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RTAC gauche

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	<i>p-value</i>
CMJ TEST	Abduction des bras saccadée	0,9 ± 1,0	0,7 ± 0,9	0,54
	Déséquilibre avant à la réception	0,2 ± 0,5	0,1 ± 0,4	0,64
	Déséquilibre arrière à la réception	0,7 ± 0,9	0,8 ± 0,8	0,59
	Réception avec décalage sur la gauche	0,1 ± 0,3	0,4 ± 0,8	0,03
	Réception avec décalage sur la droite	0,4 ± 0,8	0,2 ± 0,5	0,2
	Hyperextension durant le saut	1,2 ± 0,8	1,0 ± 0,9	0,37
	Flexion du tronc durant le saut	0,2 ± 0,5	0,0 ± 0,0	0,1
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,19
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,2 ± 0,6	0,3 ± 0,6	0,57
	Extension de la tête	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,4	0,15
	Flexion de la tête	0,5 ± 0,8	0,4 ± 0,7	0,71
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	<i>p-value</i>
DJ test	Abduction des bras saccadée	0,4 ± 0,8	0,4 ± 0,7	0,74
	Déséquilibre avant à la réception	0,4 ± 0,8	0,7 ± 0,9	0,34
	Déséquilibre arrière à la réception	0,4 ± 0,7	0,3 ± 0,7	0,79
	Stress au test/Hésitation	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,35
	Réception avec décalage sur la gauche	0,3 ± 0,6	0,2 ± 0,5	0,18
	Réception avec décalage sur la droite	0,3 ± 0,7	0,5 ± 0,8	0,4
	Hyperextension durant le saut	0,8 ± 0,9	0,4 ± 0,8	0,1
	Flexion du tronc durant le saut	0,3 ± 0,6	0,2 ± 0,5	0,57
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,2
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,0 ± 0,2	0,2 ± 0,5	0,1
	Extension de la tête	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,3	0,18
	Flexion de la tête	0,8 ± 0,8	0,8 ± 0,9	0,81
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	<i>p-value</i>
Course	Déséquilibre avant	0,6 ± 0,6	0,7 ± 0,8	0,62
	Décalage sur la gauche	0,6 ± 0,8	0,7 ± 0,9	0,88
	Décalage sur la droite	0,7 ± 0,8	0,5 ± 0,8	0,46
	Course en "Zig Zag"	0,2 ± 0,7	0,2 ± 0,6	0,9
	Flexion du tronc durant la course	0,9 ± 0,9	1,0 ± 0,9	0,64
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,7 ± 0,9	0,9 ± 0,8	0,39
	Pouce en l'air	1,1 ± 0,9	1,2 ± 0,9	0,83
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,5 ± 0,6	0,5 ± 0,7	0,67
	Déséquilibre frontal (ondulation avant/arrière)	0,5 ± 0,5	0,5 ± 0,5	1

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 1.C Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RTSC extension

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
CMJ TEST	Abduction des bras saccadée	1,1 $\pm$ 0,9	0,5 $\pm$ 0,8	0,02*
	Déséquilibre avant à la réception	0,1 $\pm$ 0,4	0,2 $\pm$ 0,6	0,31
	Déséquilibre arrière à la réception	0,8 $\pm$ 0,9	0,7 $\pm$ 0,8	0,59
	Réception avec décalage sur la gauche	0,3 $\pm$ 0,7	0,1 $\pm$ 0,4	0,23
	Réception avec décalage sur la droite	0,3 $\pm$ 0,7	0,3 $\pm$ 0,7	0,94
	Hyperextension durant le saut	1,0 $\pm$ 0,9	1,2 $\pm$ 0,9	0,37
	Flexion du tronc durant le saut	0,1 $\pm$ 0,5	0,0 $\pm$ 0,2	0,29
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,4	0,0 $\pm$ 0,2	0,62
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,3 $\pm$ 0,6	0,2 $\pm$ 0,6	0,57
	Extension de la tête	0,2 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,7	0,58
	Flexion de la tête	0,5 $\pm$ 0,8	0,4 $\pm$ 0,7	0,73
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
DJ test	Abduction des bras saccadée	0,2 $\pm$ 0,7	0,5 $\pm$ 0,8	0,31
	Déséquilibre avant à la réception	0,4 $\pm$ 0,8	0,6 $\pm$ 0,9	0,32
	Déséquilibre arrière à la réception	0,2 $\pm$ 0,6	0,4 $\pm$ 0,7	0,46
	Stress au test/Hésitation	0,0 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,3	0,53
	Réception avec décalage sur la gauche	0,5 $\pm$ 0,6	0,2 $\pm$ 0,5	0,07
	Réception avec décalage sur la droite	0,1 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,8	0,03
	Hyperextension durant le saut	0,7 $\pm$ 0,8	0,6 $\pm$ 0,9	0,73
	Flexion du tronc durant le saut	0,2 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,5	0,67
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,3	0,0 $\pm$ 0,1	0,27
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,2	0,1 $\pm$ 0,4	0,52
	Extension de la tête	0,1 $\pm$ 0,5	0,2 $\pm$ 0,6	0,63
	Flexion de la tête	0,9 $\pm$ 0,8	0,8 $\pm$ 0,8	0,84
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
Course	Déséquilibre avant	0,4 $\pm$ 0,6	0,7 $\pm$ 0,7	0,24
	Décalage sur la gauche	0,7 $\pm$ 0,9	0,6 $\pm$ 0,9	0,83
	Décalage sur la droite	0,8 $\pm$ 0,7	0,6 $\pm$ 0,8	0,45
	Course en "Zig Zag"	0,2 $\pm$ 0,6	0,2 $\pm$ 0,6	0,78
	Flexion du tronc durant la course	0,7 $\pm$ 0,8	1,1 $\pm$ 0,9	0,17
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,6 $\pm$ 0,8	0,9 $\pm$ 0,8	0,4
	Pouce en l'air	1,0 $\pm$ 1,0	1,2 $\pm$ 0,9	0,52
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,5 $\pm$ 0,7	0,5 $\pm$ 0,6	1
	Déséquilibre frontal (ondulation gauche/droite)	0,4 $\pm$ 0,5	0,6 $\pm$ 0,5	0,22

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 1.D Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RTSC flexion

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
CMJ TEST	Abduction des bras saccadée	0,8 $\pm$ 1,0	0,8 $\pm$ 0,9	0,96
	Déséquilibre avant à la réception	0,1 $\pm$ 0,2	0,2 $\pm$ 0,5	0,44
	Déséquilibre arrière à la réception	0,8 $\pm$ 0,9	0,8 $\pm$ 0,8	1
	Réception avec décalage sur la gauche	0,1 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,7	0,19
	Réception avec décalage sur la droite	0,4 $\pm$ 0,8	0,2 $\pm$ 0,6	0,34
	Hyperextension durant le saut	1,2 $\pm$ 0,8	1,0 $\pm$ 0,9	0,53
	Flexion du tronc durant le saut	0,1 $\pm$ 0,5	0,1 $\pm$ 0,3	0,67
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,5	0,0 $\pm$ 0,2	0,26
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,2 $\pm$ 0,4	0,3 $\pm$ 0,7	0,44
	Extension de la tête	0,2 $\pm$ 0,5	0,2 $\pm$ 0,6	0,73
	Flexion de la tête	0,8 $\pm$ 0,9	0,3 $\pm$ 0,7	0,05*

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
DJ test	Abduction des bras saccadée	0,6 $\pm$ 0,9	0,3 $\pm$ 0,7	0,33
	Déséquilibre avant à la réception	0,4 $\pm$ 0,8	0,6 $\pm$ 0,9	0,51
	Déséquilibre arrière à la réception	0,3 $\pm$ 0,7	0,4 $\pm$ 0,7	0,67
	Stress au test/Hésitation	0,0 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,3	0,49
	Réception avec décalage sur la gauche	0,5 $\pm$ 0,7	0,1 $\pm$ 0,4	0,01*
	Réception avec décalage sur la droite	0,2 $\pm$ 0,5	0,5 $\pm$ 0,8	0,23
	Hyperextension durant le saut	0,8 $\pm$ 0,9	0,6 $\pm$ 0,8	0,42
	Flexion du tronc durant le saut	0,2 $\pm$ 0,6	0,2 $\pm$ 0,5	0,97
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,3	0,0 $\pm$ 0,1	0,33
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,3	0,1 $\pm$ 0,4	0,96
	Extension de la tête	0,3 $\pm$ 0,7	0,1 $\pm$ 0,5	0,47
	Flexion de la tête	1,1 $\pm$ 0,8	0,7 $\pm$ 0,8	0,06

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
Course	Déséquilibre avant	0,6 $\pm$ 0,8	0,6 $\pm$ 0,6	0,95
	Décalage sur la gauche	0,9 $\pm$ 1,0	0,5 $\pm$ 0,8	0,13
	Décalage sur la droite	0,7 $\pm$ 0,9	0,6 $\pm$ 0,7	0,82
	Course en "Zig Zag"	0,1 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,7	0,55
	Flexion du tronc durant la course	0,9 $\pm$ 0,8	1,0 $\pm$ 0,9	0,56
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,9 $\pm$ 0,9	0,8 $\pm$ 0,8	0,7
	Pouce en l'air	1,3 $\pm$ 0,9	1,1 $\pm$ 0,9	0,36
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,6 $\pm$ 0,6	0,4 $\pm$ 0,7	0,35
	Déséquilibre frontal (ondulation avant/arrière)	0,4 $\pm$ 0,5	0,5 $\pm$ 0,5	0,56

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 1.E Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RM

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p-value
CMJ TEST	Abduction des bras saccadée	0,8 ± 1,0	0,9 ± 0,9	0,92
	Déséquilibre avant à la réception	0,1 ± 0,5	0,1 ± 0,4	1
	Déséquilibre arrière à la réception	0,8 ± 0,9	0,3 ± 0,8	0,13
	Réception avec décalage sur la gauche	0,2 ± 0,5	0,6 ± 1,0	0,11
	Réception avec décalage sur la droite	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,4	0,49
	Hyperextension durant le saut	1,1 ± 0,9	1,1 ± 0,9	0,82
	Flexion du tronc durant le saut	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,53
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,61
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,3 ± 0,6	0,0 ± 0,0	0,18
	Extension de la tête	0,3 ± 0,6	0,0 ± 0,0	0,28
	Flexion de la tête	0,5 ± 0,8	0,1 ± 0,4	0,25
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p-value
DJ test	Abduction des bras saccadée	0,3 ± 0,7	0,5 ± 0,8	0,31
	Déséquilibre avant à la réception	0,4 ± 0,8	0,7 ± 0,9	0,19
	Déséquilibre arrière à la réception	0,3 ± 0,6	0,4 ± 0,7	0,69
	Stress au test/Hésitation	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,0	0,33
	Réception avec décalage sur la gauche	0,2 ± 0,5	0,3 ± 0,6	0,69
	Réception avec décalage sur la droite	0,4 ± 0,7	0,4 ± 0,7	0,75
	Hyperextension durant le saut	0,7 ± 0,9	0,5 ± 0,8	0,43
	Flexion du tronc durant le saut	0,3 ± 0,6	0,2 ± 0,5	0,49
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,0 ± 0,3	0,0 ± 0,1	0,67
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,2 ± 0,5	0,0 ± 0,2	0,14
	Extension de la tête	0,2 ± 0,6	0,2 ± 0,5	0,91
	Flexion de la tête	0,9 ± 0,8	0,7 ± 0,8	0,31
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p-value
Course	Déséquilibre avant	0,7 ± 0,7	0,5 ± 0,6	0,3
	Décalage sur la gauche	0,8 ± 0,8	0,6 ± 0,9	0,43
	Décalage sur la droite	0,7 ± 0,8	0,6 ± 0,8	0,49
	Course en "Zig Zag"	0,4 ± 0,8	0,1 ± 0,4	0,11
	Flexion du tronc durant la course	1,2 ± 0,9	0,8 ± 0,8	0,15
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,7 ± 0,8	0,9 ± 0,9	0,3
	Pouce en l'air	1,3 ± 0,9	1,0 ± 0,9	0,28
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,5 ± 0,8	0,5 ± 0,5	0,83
	Déséquilibre frontal (ondulation gauche/droite)	0,6 ± 0,5	0,4 ± 0,5	0,41

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 1.F Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RTL extension

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
CMJ TEST	Abduction des bras saccadée	0,9 $\pm$ 1,0	0,8 $\pm$ 0,9	0,75
	Déséquilibre avant à la réception	0,1 $\pm$ 0,2	0,2 $\pm$ 0,6	0,4
	Déséquilibre arrière à la réception	0,8 $\pm$ 0,9	0,7 $\pm$ 0,8	0,93
	Réception avec décalage sur la gauche	0,2 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,6	0,65
	Réception avec décalage sur la droite	0,4 $\pm$ 0,8	0,3 $\pm$ 0,6	0,42
	Hyperextension durant le saut	1,2 $\pm$ 0,8	1,0 $\pm$ 0,9	0,36
	Flexion du tronc durant le saut	0,1 $\pm$ 0,5	0,1 $\pm$ 0,4	0,73
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,5	0,0 $\pm$ 0,2	0,29
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,2 $\pm$ 0,4	0,3 $\pm$ 0,7	0,68
	Extension de la tête	0,2 $\pm$ 0,6	0,2 $\pm$ 0,6	0,98
	Flexion de la tête	0,8 $\pm$ 0,8	0,3 $\pm$ 0,7	0,03*
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
DJ test	Abduction des bras saccadée	0,3 $\pm$ 0,7	0,4 $\pm$ 0,8	0,61
	Déséquilibre avant à la réception	0,5 $\pm$ 0,9	0,6 $\pm$ 0,8	0,64
	Déséquilibre arrière à la réception	0,2 $\pm$ 0,6	0,4 $\pm$ 0,7	0,38
	Stress au test/Hésitation	0,0 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,3	0,51
	Réception avec décalage sur la gauche	0,4 $\pm$ 0,6	0,2 $\pm$ 0,5	0,1
	Réception avec décalage sur la droite	0,2 $\pm$ 0,5	0,5 $\pm$ 0,8	0,14
	Hyperextension durant le saut	0,8 $\pm$ 0,8	0,6 $\pm$ 0,9	0,42
	Flexion du tronc durant le saut	0,2 $\pm$ 0,5	0,3 $\pm$ 0,6	0,58
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,3	0,0 $\pm$ 0,1	0,3
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,1 $\pm$ 0,2	0,1 $\pm$ 0,4	0,47
	Extension de la tête	0,1 $\pm$ 0,5	0,2 $\pm$ 0,6	0,57
	Flexion de la tête	0,9 $\pm$ 0,8	0,8 $\pm$ 0,8	0,7
	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne $\pm$ ET)	RPs intégrés (Moyenne $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
Course	Déséquilibre avant	0,5 $\pm$ 0,7	0,7 $\pm$ 0,7	0,43
	Décalage sur la gauche	0,7 $\pm$ 0,8	0,6 $\pm$ 0,9	0,92
	Décalage sur la droite	0,8 $\pm$ 0,8	0,6 $\pm$ 0,8	0,31
	Course en "Zig Zag"	0,3 $\pm$ 0,8	0,2 $\pm$ 0,6	0,6
	Flexion du tronc durant la course	0,8 $\pm$ 0,9	1,1 $\pm$ 0,8	0,2
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,7 $\pm$ 0,9	0,9 $\pm$ 0,8	0,5
	Pouce en l'air	1,1 $\pm$ 1,0	1,1 $\pm$ 0,9	0,95
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,6 $\pm$ 0,7	0,5 $\pm$ 0,6	0,64
	Déséquilibre frontal (ondulation gauche/droite)	0,4 $\pm$ 0,5	0,6 $\pm$ 0,5	0,24

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 1.G Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RTL flexion

	Critères d'observation	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	p-value
CMJ TEST	Abduction des bras saccadée	0,8 ± 1,0	0,9 ± 0,9	0,83
	Déséquilibre avant à la réception	0,2 ± 0,5	0,1 ± 0,3	0,48
	Déséquilibre arrière à la réception	0,8 ± 0,9	0,6 ± 0,8	0,43
	Réception avec décalage sur la gauche	0,2 ± 0,5	0,4 ± 0,8	0,21
	Réception avec décalage sur la droite	0,3 ± 0,7	0,2 ± 0,4	0,48
	Hyperextension durant le saut	1,1 ± 0,9	1,0 ± 0,9	0,71
	Flexion du tronc durant le saut	0,1 ± 0,5	0,0 ± 0,0	0,31
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,0 ± 0,3	0,1 ± 0,3	0,84
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,3 ± 0,6	0,3 ± 0,6	0,89
	Extension de la tête	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,3	0,22
	Flexion de la tête	0,5 ± 0,7	0,4 ± 0,7	0,78
DJ test	Abduction des bras saccadée	0,4 ± 0,8	0,4 ± 0,7	0,85
	Déséquilibre avant à la réception	0,5 ± 0,8	0,7 ± 1,0	0,33
	Déséquilibre arrière à la réception	0,4 ± 0,7	0,2 ± 0,6	0,55
	Stress au test/Hésitation	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,55
	Réception avec décalage sur la gauche	0,3 ± 0,5	0,2 ± 0,6	0,64
	Réception avec décalage sur la droite	0,3 ± 0,7	0,6 ± 0,8	0,29
	Hyperextension durant le saut	0,7 ± 0,9	0,5 ± 0,9	0,47
	Flexion du tronc durant le saut	0,2 ± 0,5	0,3 ± 0,6	0,8
	Flexion des genoux incontrôlée pendant la phase aérienne	0,0 ± 0,2	0,0 ± 0,2	0,86
	Extension des jambes+ flexion du tronc pendant la phase aérienne	0,1 ± 0,4	0,1 ± 0,3	0,57
	Extension de la tête	0,2 ± 0,6	0,0 ± 0,0	0,14
	Flexion de la tête	0,8 ± 0,8	0,9 ± 0,8	0,52
Course	Déséquilibre avant	0,7 ± 0,7	0,5 ± 0,7	0,47
	Décalage sur la gauche	0,6 ± 0,8	0,8 ± 1,0	0,49
	Décalage sur la droite	0,7 ± 0,8	0,4 ± 0,7	0,13
	Course en "Zig Zag"	0,3 ± 0,7	0,1 ± 0,5	0,55
	Flexion du tronc durant la course	0,9 ± 0,9	1,1 ± 0,8	0,41
	Flexion de la tête et/ou des épaules	0,7 ± 0,8	1,1 ± 0,9	0,08
	Pouce en l'air	1,1 ± 0,9	1,2 ± 0,9	0,72
	Déséquilibre Sagittal (ondulation avant/arrière)	0,5 ± 0,6	0,5 ± 0,7	1
	Déséquilibre frontal (ondulation gauche/droite)	0,5 ± 0,5	0,4 ± 0,5	0,54

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

Annexe 2 Comparaison des groupes de RPs actifs et RPs intégrés des RPs sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischios jambiers/adducteurs/abducteurs).

A 2.A Comparaison des groupes de RPs actifs et intégrés du RPs RTAC droit sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischios-jambiers/adducteurs/abducteurs).

Test (Endurance-Vitesse)	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	<i>p</i>- value
VAMEVAL	17.5 ± 6.4	19.6 ± 8.3	0,19
Yoyo (m)	2401.2 ± 345.1	2452.3 ± 372.9	0,60
10m (s)	1.88 ± 0.09	1.89 ± 0.05	0,49
30m (s)	4.4 ± 0.2	4.5 ± 0.2	0,07
Test (Saut et asymétrie D-G)	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	<i>p</i>- value
CMJ (cm)	40.1 ± 4.7	39.1 ± 5.8	0,46
Asymétrie index CMJ (%)	8.9 ± 8.1	9.0 ± 7.6	0,96
Drop Jump (RSI)	2.1 ± 0.5	1.9 ± 0.6	0,25
Asymétrie index DJ (%)	10.8 ± 8.9	10.9 ± 11.5	0,65
Asymétrie Test force ischiojambiers et Adducteurs/abducteurs (%)	RPs actifs (Moyenne ± ET)	RPs intégrés (Moyenne ± ET)	<i>p</i>- value
NordBord (Max Force)	9.2 ± 8.3	12.4 ± 9.0	0,11
NordBord (Ave Force)	18.0 ± 5.6	12.6 ± 9.1	0,03*
Asymétrie force adducteurs	14.0 ± 6.0	12.2 ± 2.1	0,05
Asymétrie force abducteurs	6.3 ± 4.4	8.8 ± 13.7	0,43

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 2.B Comparaison des groupes de RPs actifs et intégrés du RPs RTAC gauche sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischio-jambiers/adducteurs/abducteurs).

Test (Endurance-Vitesse)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
VAMEVAL	18.5 $\pm$ 8.8	18.1 $\pm$ 4.8	0,35
Yoyo (m)	2422.6 $\pm$ 314.2	2542.9 $\pm$ 391.9	0,20
10m (s)	1.9 $\pm$ 0.1	1.9 $\pm$ 0.1	0,80
30m (s)	4.4 $\pm$ 0.2	4.5 $\pm$ 0.2	0,20

Test (Saut et asymétrie D-G)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p</i>
CMJ (cm)	39.5 $\pm$ 5.0	39.8 $\pm$ 5.4	0,83
Asymétrie index CMJ (%)	10.1 $\pm$ 8.9	7.6 $\pm$ 6.3	0,26
Drop Jump (RSI)	2.0 $\pm$ 0.5	1.9 $\pm$ 0.5	0,41
Asymétrie index DJ (%)	10.4 $\pm$ 8.6	11.4 $\pm$ 11.4	0,97

Asymétrie Test force ischiojambiers et Adducteurs/abducteurs (%)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
NordBord (Max Force)	10.1 $\pm$ 8.7	11.0 $\pm$ 8.8	0,61
NordBord (Ave Force)	8.8 $\pm$ 6.1	11.2 $\pm$ 8.8	0,39
Asymétrie force adducteurs	6.9 $\pm$ 5.9	11.2 $\pm$ 8.9	0,12
Asymétrie force abducteurs	6.1 $\pm$ 4.4	8.5 $\pm$ 12.2	0,67

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 2.C Comparaison des groupes de RPs actifs et intégrés du RPs RTSC extension sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischio-jambiers/adducteurs/abducteurs).

Test (Endurance-Vitesse)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
VAMEVAL	18.1 ± 8.5	18.1 ± 6.7	0,73
Yoyo (m)	2425.0 ± 330.9	2500.0 ± 365.6	0,28
10m (s)	1.9 ± 0.04	1.87 ± 0.1	0,60
30m (s)	4.6 ± 0.2	4.1 ± 0.2	0,70
Test (Saut et asymétrie D-G)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
CMJ (cm)	40.4 ± 4.6	39.4 ± 5.4	0,49
Asymétrie index CMJ (%)	10.0 ± 7.0	8.6 ± 8.1	0,32
Drop Jump (RSI)	1.9 ± 0.4	1.9 ± 0.5	0,77
Asymétrie index DJ (%)	8.2 ± 7.1	11.8 ± 10.7	0,18
Asymétrie Test force ischiojambiers et Adducteurs/abducteurs (%)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
NordBord (Max Force)	10.8 ± 9.8	10.4 ± 8.4	0,9
NordBord (Ave Force)	10.6 ± 8.9	9.7 ± 7.1	0,96
Asymétrie force adducteurs	10.4 ± 10.9	8.5 ± 6.5	1,00
Asymétrie force abducteurs	4.6 ± 3.1	8.1 ± 10.0	0,51

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 2.D Comparaison des groupes de RPs actifs et intégrés du RPs RTSC flexion sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischio-jambiers/adducteurs/abducteurs).

Test (Endurance-Vitesse)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
VAMEVAL	18.6 ± 7.5	18.2 ± 7.1	0,57
Yoyo (m)	2471.0 ± 320.7	2484.1 ± 375.8	0,69
10m (s)	1.85 ± 0.06	1.90 ± 0.07	0,06
30m (s)	4.6 ± 0.2	4.4 ± 0.2	0,06
Test (Saut et asymétrie D-G)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
CMJ (cm)	40.6 ± 4.0	39.2 ± 5.7	0,27
Asymétrie index CMJ (%)	8.3 ± 5.9	9.2 ± 8.7	0,99
Drop Jump (RSI)	2.1 ± 0.4	1.9 ± 0.5	0,14
Asymétrie index DJ (%)	8.4 ± 6.5	12.1 ± 11.2	0,27
Asymétrie Test force ischiojambiers et Adducteurs/abducteurs (%)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
NordBord (Max Force)	9.1 ± 9.4	11.2 ± 8.3	0,14
NordBord (Ave Force)	9.4 ± 8.4	10.2 ± 7.2	0,31
Asymétrie force adducteurs	8.5 ± 9.8	9.1 ± 6.6	0,40
Asymétrie force abducteurs	5.0 ± 3.3	8.3 ± 10.4	0,64

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 2.E Comparaison des groupes de RPs actifs et intégrés du RM sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischio-jambiers/adducteurs/abducteurs).

Test (Endurance-Vitesse)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
VAMEVAL	19.4 ± 6.4	17.6 ± 6.3	1
Yoyo (m)	2398.1 ± 314.3	2524.7 ± 372.4	0,19
10m (s)	1.86 ± 0.05	1.89 ± 0.08	0,16
30m (s)	4.4 ± 0.1	4.5 ± 0.2	0,1
Test (Saut et asymétrie D-G)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
CMJ (cm)	39.9 ± 5.2	39.5 ± 5.2	0,8
Asymétrie index CMJ (%)	10.6 ± 7.5	7.8 ± 7.9	0,1
Drop Jump (RSI)	1.9 ± 45.6	2.0 ± 0.5	0,3
Asymétrie index DJ (%)	10.3 ± 9.3	11.2 ± 10.5	0,7
Asymétrie Test force ischiojambiers et Adducteurs/abducteurs (%)	RPs actifs (moy ± ET)	RPs intégrés (moy ± ET)	<i>p-value</i>
NordBord (Max Force)	10.4 ± 9.6	10.6 ± 8.1	0,6
NordBord (Ave Force)	9.2 ± 6.7	10.4 ± 8.1	0,7
Asymétrie force adducteurs	10.4 ± 9.0	8.1 ± 6.8	0,6
Asymétrie force abducteurs	7.8 ± 12.3	6.9 ± 6.4	0,5

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 2.F Comparaison des groupes de RPs actifs et intégrés du RPs RTL extension sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischio-jambiers/adducteurs/abducteurs).

Test (Endurance-Vitesse)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
VAMEVAL	18.8 $\pm$ 7.1	15.0 $\pm$ 6.9	0,08
Yoyo (m)	2107.9 $\pm$ 355.9	2230.0 $\pm$ 253.5	0,07
10m (s)	1.88 $\pm$ 0.08	1.89 $\pm$ 0.02	0,90
30m (s)	4.4 $\pm$ 0.2	4.4 $\pm$ 0.1	0,77

Test (Saut et asymétrie D-G)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
CMJ (cm)	39.6 $\pm$ 5.2	39.8 $\pm$ 5.5	0,94
Asymétrie index CMJ (%)	9.1 $\pm$ 7.8	7.6 $\pm$ 8.4	0,45
Drop Jump (RSI)	1.9 $\pm$ 0.5	2.1 $\pm$ 0.5	0,56
Asymétrie index DJ (%)	10.8 $\pm$ 10.5	11.5 $\pm$ 4.2	0,24

Asymétrie Test force ischiojambiers et Adducteurs/abducteurs (%)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
NordBord (Max Force)	10.2 $\pm$ 8.8	13.0 $\pm$ 7.7	0,279
NordBord (Ave Force)	9.7 $\pm$ 7.7	11.5 $\pm$ 6.6	0,38
Asymétrie force adducteurs	8.2 $\pm$ 7.7	10.9 $\pm$ 5.7	0,06
Asymétrie force abducteurs	7.7 $\pm$ 9.3	4.0 $\pm$ 2.9	0,36

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 2.G Comparaison des groupes de RPs actifs et intégrés du RPs RTL flexion sur les tests athlétiques (Endurance, vitesse, saut, et asymétries des forces ischio-jambiers/adducteurs/abducteurs).

Test (Endurance-Vitesse)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
VAMEVAL	18.6 $\pm$ 7.1	17.7 $\pm$ 7.6	0,92
Yoyo (m)	2446.0 $\pm$ 321.9	2570.0 $\pm$ 431.5	0,24
10m (s)	1.88 $\pm$ 0.08	1.89 $\pm$ 0.06	0,79
30m (s)	4.4 $\pm$ 0.2	4.5 $\pm$ 0.1	0,09

Test (Saut et asymétrie D-G)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
CMJ (cm)	40.3 $\pm$ 5.4	37.8 $\pm$ 4.1	0,08
Asymétrie index CMJ (%)	8.9 $\pm$ 6.0	9.1 $\pm$ 11.7	0,25
Drop Jump (RSI)	2.0 $\pm$ 0.4	2.0 $\pm$ 0.6	0,90
Asymétrie index DJ (%)	8.9 $\pm$ 7.5	6.3 $\pm$ 8.6	0,20

Asymétrie Test force ischiojambiers et Adducteurs/abducteurs (%)	RPs actifs (moy $\pm$ ET)	RPs intégrés (moy $\pm$ ET)	<i>p-value</i>
NordBord (Max Force)	10.7 $\pm$ 9.2	10.0 $\pm$ 7.3	0,88
NordBord (Ave Force)	10.0 $\pm$ 7.9	9.7 $\pm$ 6.8	0,91
Asymétrie force adducteurs	9.0 $\pm$ 8.2	8.6 $\pm$ 6.1	0,82
Asymétrie force abducteurs	6.4 $\pm$ 9.1	9.7 $\pm$ 7.9	0,06

*Différence significative entre les groupes RPs actifs et RPs intégrés ($p < 0,05$).

A 3. Résultats des critères d'observation sur les tests de sauts et course en fonction de l'activité du RTL flexion

Postes	Variable	Groupe	RTAC droit	RTAC gauche	Extension RTSC	Flexion RTSC	MICROMÈTRE	Extension RTL	Flexion RTL
Tous les postes	N	RP _s intégrés	17	24	35	36	42	6	17
		RP _s actifs	42	35	24	6	17	53	42
	Âge	RP _s intégrés	17,7 ± 1,5	18,0 ± 1,5	17,7 ± 1,6	17,7 ± 1,4	17,5 ± 1,4	18,7 ± 2,4	17,6 ± 1,7
	(année)	RP _s actifs	17,6 ± 1,4	17,3 ± 1,3	17,5 ± 1,2	17,6 ± 5,1	18,0 ± 1,5	17,5 ± 1,3	17,6 ± 1,3
	Taille	RP _s intégrés	178,8 ± 6,9	179,9 ± 6,6	178,3 ± 7,1	178,5 ± 6,9	178,5 ± 6,5	177,2 ± 3,3	178,5 ± 5,6
	(cm)	RP _s actifs	177,8 ± 6,0	176,8 ± 5,7	177,8 ± 4,8	177,4 ± 5,1	177,6 ± 5,8	178,2 ± 6,5	177,9 ± 6,5
	Poids	RP _s intégrés	70,2 ± 7,3	70,8 ± 7,5	68,7 ± 7,2	69,7 ± 6,9	69,2 ± 7,0	71,7 ± 3,7	69,7 ± 6,6
	(kg)	RP _s actifs	68,8 ± 6,4	68,1 ± 5,9	69,9 ± 5,7	68,5 ± 6,3	69,2 ± 5,9	68,9 ± 6,8	69,0 ± 6,7
Milieux de terrain défensifs et offensifs, latéraux et défenseurs centraux	N	RP _s intégrés	13	18	28	28	31	4	16
		RP _s actifs	29	24	14	14	11	38	26
	Âge	RP _s intégrés	17,5 ± 1,3	18,1 ± 1,5	17,7 ± 1,5	17,5 ± 1,4	17,6 ± 1,3	18,5 ± 3,0	17,8 ± 1,7
	(année)	RP _s actifs	17,8 ± 1,5	17,4 ± 1,3	17,8 ± 1,3	18,1 ± 1,6	18,1 ± 1,8	17,6 ± 1,2	17,7 ± 1,3
	Taille	RP _s intégrés	178,5 ± 6,4	179,6 ± 6,4	178,5 ± 7,0	178,5 ± 6,7	178,1 ± 6,6	177,8 ± 3,3	178,8 ± 6,8
	(cm)	RP _s actifs	178,3 ± 6,7	177,5 ± 6,5	178,0 ± 5,5	178,0 ± 6,2	179,0 ± 6,3	178,4 ± 6,8	178,1 ± 7,1
	Poids	RP _s intégrés	68,7 ± 6,2	69,6 ± 7,3	69,8 ± 6,7	69,1 ± 6,6	69,1 ± 6,6	71,4 ± 0,8	69,8 ± 6,8
	(kg)	RP _s actifs	69,5 ± 6,8	69,1 ± 6,0	65,8 ± 3,4	69,6 ± 6,6	69,7 ± 6 et 7	69,1 ± 6,8	69,0 ± 6,4
Milieux de terrain défensifs et offensifs, latéraux, excentré et attaquants	N	RP _s intégrés	12	18	27	28	33	5	12
		RP _s actifs	37	31	22	21	16	44	37
	Âge	RP _s intégrés	17,9 ± 1,6	18,2 ± 1,7	17,8 ± 1,7	17,8 ± 1,4	17,5 ± 1,5	19,2 ± 2,3	17,9 ± 2,0
	(année)	RP _s actifs	17,6 ± 1,5	17,4 ± 1,4	17,5 ± 1,2	17,6 ± 1,6	17,9 ± 1,6	17,5 ± 1,3	17,6 ± 1,3
	Taille	RP _s intégrés	176,8 ± 7,1	177,8 ± 6,2	176,5 ± 7,0	176,7 ± 6,7	176,6 ± 6,2	176,4 ± 3,0	175,6 ± 3,3
	(cm)	RP _s actifs	176,6 ± 5,4	176,0 ± 5,5	176,9 ± 4,0	176,6 ± 4,6	176,9 ± 5,1	176,7 ± 6,0	177,0 ± 6,4
	Poids	RP _s intégrés	69,0 ± 8,0	69,1 ± 7,2	67,0 ± 7,0	68,2 ± 6,6	67,5 ± 6,5	71,6 ± 4,1	66,5 ± 4,3
	(kg)	RP _s actifs	67,5 ± 5,5	67,2 ± 5,5	69,0 ± 4,8	67,5 ± 5,6	68,6 ± 5,4	67,5 ± 6,3	68,3 ± 6,6

RTAC = réflexe tonique asymétrique du cou ; RTSC = réflexe tonique symétrique du cou ; RTL = réflexe tonique labyrinthique ; Aucune différence significative ($p \leq 0,05$) n'est rapportée.

Publications

Étude n°1 : Persistence and activity levels of primitive reflexes in young high-level football players



OPEN ACCESS

EDITED BY
Stephen Harvey,
Ohio University, United States

REVIEWED BY
Valerio Giustino,
University of Palermo, Italy
Ewa Zofia Gieysztor,
Wrocław Medical University, Poland
Benito Pereira Damasceno,
State University of Campinas, Brazil

*CORRESPONDENCE
Julie Bastiere
✉ bastierejulie@gmail.com

RECEIVED 29 March 2024
ACCEPTED 27 June 2024
PUBLISHED 17 July 2024

CITATION
Bastiere J, Lussiana T, Young D, Gindre C and
Mouro L (2024) Persistence and activity levels
of primitive reflexes in young high-level
football players.
Front. Sports Act. Living 6:1409257.
doi: 10.3389/fspor.2024.1409257

COPYRIGHT
© 2024 Bastiere, Lussiana, Young, Gindre and
Mouro. This is an open-access article
distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#). The
use, distribution or reproduction in other
forums is permitted, provided the original
author(s) and the copyright owner(s) are
credited and that the original publication in
this journal is cited, in accordance with
accepted academic practice. No use,
distribution or reproduction is permitted
which does not comply with these terms.

Persistence and activity levels of primitive reflexes in young high-level football players

Julie Bastiere^{1,2,3*}, Thibault Lussiana^{1,2,4,5}, Damien Young⁶,
Cyrille Gindre^{1,2,4,5} and Laurent Mouro^{1,2,7}

¹SYNERGIES, Université de Franche-Comté, Besançon, France, ²Plateforme Exercice Performance Santé Innovation, Université de Franche-Comté, Besançon, France, ³ESTAC Association, 5 rue Marie Curie, Troyes, France, ⁴Research and Development Department, Volodalen, Chavéria, France, ⁵Research and Development Department, Volodalen SwissSportLab, Aigle, Switzerland, ⁶Technology University of the Shannon, Midlands Midwest, Thurles Campus, Tipperary, Ireland, ⁷Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Thompson Rivers University, Kamloops, BC, Canada

Introduction: Primitive reflexes (PR) induce involuntary automatic movements in response to specific stimuli. This study aimed to determine the prevalence of active PR in young high-level football players.

Methodology: Sixty-nine national-level football players from a French academy were tested (17.0 ± 1.4 years; 69.6 ± 8.0 kg; 178.9 ± 6.9 cm) to evaluate the persistence of PR, following the methodology of the Institute for Neuro-Physiological Psychology (INPP) and the classification by a global score (GS). Based on the sum of seven tests, each was rated between 0 = null and 4 = max. The GS is classified into five categories from no activity to maximal (0–1 = no activity, 2–7 = low, 8–13 = medium, 14–21 = high, and 22–28 = maximal).

Result: Around two-thirds (68.1%) of players presented active PR at different activity levels. Among them, a small proportion (7.2%) had medium GS, while 60.9% had a low GS. The GS was not dependent on field position or the age of the players ($p > 0.05$). However, playing football in an age category higher than their own was associated with significantly more active primitive reflexes (PR) compared to being in their age category ($p < 0.01$). The results showed that 72.7% of “upgraded” football players had low GS and 18.2% had medium GS, compared to 55.3% and 2.1% in the non-upgraded group.

Discussion: The findings of the current study demonstrate that PR could still be active in a healthy population of high-level football players. Practicing a single sport for years and upgrading players could create a negative environment that can ultimately lead to the activation of otherwise integrated PR.

KEYWORDS

primitive reflexes, neuroscience, football, score reflex, neurodevelopment

1 Introduction

A football game is characterized by approximately 1,200 acyclical and unpredictable changing actions, including 700 turns, 30–40 jumps or tackles, dribbling, and kicking (1, 2). Football technical skills require cognitive and physical abilities and postural control such as strength and speed (3, 4), resulting in excellent agility and a sense of balance that is a rejection assessment criterion if not effective in the field for talent identification (4). Balance skills require the adjustment of rapid and consistent muscle

Abbreviations

PR, primitive reflex; ATNR, asymmetrical tonic neck reflex; STNR, symmetrical tonic neck reflex; TLR, tonic labyrinthine reflex; L, left; R, right; EXT, extension; FLX, flexion; GS, global score.

responses in an ever-changing environment using the synergy of three systems: (a) visual, (b) proprioceptive, and (c) vestibular (5). This trio of postural control tools allows individuals to respond to a specific environment that can be interfered with by active primitive reflexes (PR) (6).

The primitive (or primary) reflexes are automatic (7), stereotyped movement mediated by the brainstem during the first 6 months of the child's life, which is inhibited during the second 6 months of the child's life with the maturation of the central nervous system (8). The authors demonstrated the correlation between motor milestones and regression of PR during this period (i.e., rolling and sitting) (9). The PR would be the mechanism used to prepare the body for vertical position and balance by stimulating the vestibular system (10). They will remain within the lower parts of the nervous system to reappear in urgent situations (11). They are historically used by pediatricians for neurological examination during the first year of postnatal life (12). Severe activity of PR after their normal lifespan indicates pathologies such as cerebral palsy (13) or autism spectrum (14). Milder activity of PR is associated with less severe disorders (15) and an indication of a delay in the development of the central nervous system or of immaturity of the vestibular system and associated neural pathways (11, 16). The findings showed that active PR persists in healthy populations, notably in the child population. Pecuch et al. (17) reported that 98% of 44 healthy children (aged 4–6 years) presented at least one active PR. The same research group reported 92.9% of active PR in another cohort of 112 healthy children (aged 4–6 years) in Poland (18). Meanwhile, Hickey and Feldhacker (19) have shown that nearly 100% of 27 preschool children (aged 4–6 years) from the United States had at least one active PR. But also in the older population, research on 27 children with learning difficulties between ages 7.0 and 18.2 years from Poland confirmed that PR could last up to 18 years (20). Furthermore, the same authors reported that the level of activity of active PR could even increase with age. Niklasson et al. (21) showed that PR can be active in the adult population ($n = 13$; $35.21 \text{ years} \pm 10.73$) and teenage population ($n = 100$; $12.44 \text{ years} \pm 1.57$) in the same proportion.

Studies reported that the active PR can interfere with normal motor development and motor skills (19, 22). Indeed, an active PR can alter neural pathways, decrease motor control (22, 23), and indicate neuromotor immaturity (11). Active PR can also affect learning, and in some cases, this will require more effort and time for good task execution (24, 25).

Each PR has a specific motor response to a stimulus with an involuntary movement or recognized and identifiable behavior (13, 26). The asymmetrical tonic neck reflex (ATNR) appears to be the most delegated PR in performing motor tasks, such as reading difficulty (24, 27), in fine and gross motor control as in writing, creeping, and catching a ball (24). The symmetrical tonic neck reflex (STNR) when actively prolonged in time has negative effects on the visual system such as tracking an object approaching at speed (e.g., catching a ball) (6, 28). The tonic labyrinthine reflex (TLR) and the Moro reflex (MR) have vestibular origins. The MR, when active, can create fear of falling and has a major negative impact on psychological and physiological development (29), while TLR can pose many symptoms described by Goddard Blythe (11)

as insecure balance, hypotonus, and spatial problem. These four PR were considered as having a diagnostic value, have already been tested in healthy adult populations, and can be connected to all regulatory systems of balance (vestibular-proprioceptive and visual) that are necessary to perform football at a high level (21, 30, 31). In the field of sports, Bogdanoviča et al. (32) reported that active PR (TLR, STNR, and ATNR) increased the time required to assimilate technical gestures and skills quality in two 7-year-old children that had the same level of swimming ability before lessons. The children with 8% of APR achieved a level of swimming proficiency of 77% compared with 33% for the child with more than 25% of APR. They concluded that to improve swimming ability, tasks should be repeated more frequently and needed more time for children with active PR to achieve comparable results to children of the same age with integrated PR. These three active PR have an incidence on the muscular tonus which will cause a gap between the messages passing from the vestibular system to the body and the body's reaction (retroaction of somatosensory system). There will be a difference between the task performed and the final performance (11).

Thus, it could be hypothesized that during a football match, a player with active PR could show difficulties in reading trajectory or performing the correct gesture and the best tactical choice in a stressful environment. However, to the best of the authors' knowledge, there is no information on the prevalence of active PR in the population of elite football players. Therefore, the main objective of this study was to evaluate whether PR can be still active and their corresponding activity levels in adolescents and adults practicing football.

2 Material and methods

2.1 Participants

This cross-sectional study included all football players from a French professional club academy who met the inclusion criteria. To be eligible, players must have had over 5 years of training in a sports club prior to joining the academy and must not have had any injuries in the month preceding the evaluation. Players who were injured during the test period or had an injury in the last month were excluded from the study.

A total of 69 male football players participated in this study (age, 17.0 ± 1.5 years; weight, 69.6 ± 8.0 kg; height, 179.0 ± 6.9 cm). These players had been part of the academy for an average of 1.8 ± 1.7 years. The study population was divided based on three criteria: (1) year of birth, to assess age-related integration (Group 1, year of birth), (2) whether a player had been upgraded or not, to evaluate stress-induced reactivation (Group 2, player upgrade status), and (3) playing position on the pitch, to determine activation by different stimuli such as head rotation, head flexion, or extension (Group 3, playing position).

2.1.1 Years of birth

Six groups were established according to the birth year: 6 players born in 2001 (weight, 78.8 ± 7.3 kg; height, $182.7 \pm$

9.8 cm); 5 players born in 2002 (weight, 66.5 ± 3.5 kg; height, 182.9 ± 5.2 cm); 15 players born in 2003 (weight, 70.6 ± 7.8 kg; height, 179.5 ± 6.4 cm); 19 players born in 2004 (weight, 71.0 ± 7.3 kg; height, 178.3 ± 7.0 cm); 17 players born in 2005 (weight, 65.8 ± 6.2 kg; height, 176.5 ± 7.1 cm), and 16 players born in 2006 (weight, 65.6 ± 5.6 kg; height, 178.2 ± 5.8 cm).

2.1.2 Player upgraded

The players were divided into two groups: 47 players were playing in their age category “non-upgraded” (age, 17.3 ± 1.6 years; weight, 71.9 ± 7.3 kg; height, 179.6 ± 6.9 cm), and 22 players were playing in a higher-age category “upgraded” than their age (age, 16.4 ± 1.1 years; weight, 65.3 ± 5.5 kg; height, 177.6 ± 6.8 cm).

2.1.3 Player position

The player's position was divided into six groups: 10 goalkeepers (age, 17.0 ± 1.4 years; weight, 75.9 ± 7.1 kg; height, 182.8 ± 8.7 cm); 16 central defenders (age, 16.9 ± 1.2 years; weight, 72.0 ± 3.6 kg; height, 182.9 ± 5.2 cm); 8 full backs (age, 16.8 ± 1.6 years; weight, 71.2 ± 3.8 kg; height, 177.5 ± 6.1 cm); 18 midfielders (age, 16.9 ± 1.9 years; weight, 63.9 ± 2.4 kg; height, 175.4 ± 2.7 cm); 12 wingers (age, 17.0 ± 1.8 years; weight, 71.0 ± 1.6 kg; height, 176.1 ± 7.1 cm); and 5 forwards (age, 16.7 ± 1.8 years; weight, 68.0 ± 7.1 kg; height, 180.1 ± 4.7 cm).

2.2 Test of primitive reflex

Testing took place during the first week after returning to the academy, following the mid-season break in July. Each player was tested in return to the academy following the same protocol of screening test, including the PR. All football players have been tested by the same operator using the Institute for Neuro-Physiological Psychology (INPP) methodology (6). Four PR described in the introduction were tested with four trials, except for the MR, which was tested once. ATNR was assessed while standing, feet together, arms forward at shoulder height, eyes closed, wrists flexed, and hands relaxed. The test consisted of a rotation of the head on both sides induced by the practitioner (left side, ATNR L; right side, ATNR R). The movement is continuous with a pause for 5–10 s at the end of each rotation or neutral position. Before starting, the practitioner informed the participants that they must keep their arms forward without moving. The involuntary movement is rated as the function of the movement of the hand or arm on the side to which the head was turned. TLR was tested in a standing position, feet together and eyes closed. The test was performed following two manipulations. The first consisted of an extension of the head (TLR EXT) and the second in a flexion (TLR FLX) of the head. The movement is continuous with a pause for 5 s at each end of the movement (i.e., head extension and head flexion). The involuntary movement is rated as the function of loss or alternation of balance.

STNR was tested in a quadruped position (hands below shoulders and knees below hips). The instruction for the

participant is to hold the quadruped position during the movement of the head during flexion (SNTR FLX) or extension (STNR EXT). The movement is continuous with a pause for 5 s at each end of the movement (i.e., head extension and head flexion). The involuntary movement is rated as the function of the tremors in one or both arms or hip movements, bending of the arms due to flexion of the head, or arching of the back. MR is tested standing, feet joined, arms forward at shoulder height, eyes closed, wrists flexed, hands relaxed, and the head back. After clearly explaining the test and asking if the participant was ready, the subject was asked to drop into the hands of the practitioner by a back rocker. The involuntary movement is rated as the function of abduction of arms or distress during the test.

The PR were graded on a subjective scale ranging from 0 to 4 (one in one increment) based on the involuntary movement that was observed after a specific task or stimulation. A sample of the scoring system is given in Table 1, and a detailed grading system has been by Sally Goddard Blythe (INPP, Chester, UK) [6]. Level 0 indicates no activity (no involuntary movement) to stimuli during the test, up to 4, which indicates the maximum level of activity of PR (large involuntary movement) to stimuli during the test.

TABLE 1 Sample primitive reflex grading for ATNR.

Primitive reflex	INPP scoring scale
Asymmetrical tonic neck reflex (ANTR)	0. No movement of the arms in response to head rotation
Right and left.(R and L)	1. Slight deviation of the arm(s) up to 12–15° in the direction of head
	2. Rotation 30° rotation of the arms
	3. 45° rotation of the arms
	4. 90° rotation of the arms

To observe and compare the distribution of active PR, we have built on Arnold Capute's pioneering work on primitive reflex profile and contemporary authors on reflex activity level, which is obtained by adding each score of each test. Based on previous work, the sum of each PR score was performed to have a global score (GS) reflecting the activation percentage of PR: 0–1 = no activity (<5% of activity), 3–7 = low (<25% of activity), 8–13 = medium (<50% of activity), 14–21 = high (<75% of activity), and 22–28 maximal (<100% of activity) of APRs (6, 18, 33).

2.3 Data and statistical analyses

All the data exported from the MetaSoft Studio software were merged into a Microsoft Office 365 Excel spreadsheet (Microsoft, Redmond, WA, USA) and computed to be analyzed with a custom RStudio algorithm on the desktop software version 1.4.1106 (RStudio PBC, Boston, MA, USA). No sample size calculation was performed *a priori* due to the lack of pre-existing data in the literature. Descriptive statistics were computed for all variables and are reported as mean $\pm$ standard deviation (SD) or as prevalence, expressed as the percentage of football players. The categories were transformed into numerical values (e.g., the player in his category as 0 and upgraded as 1). Pearson's

chi-squared tests were used to examine associations between levels of primitive reflex activity and categorical variables including player position, year of birth, and upgrade status. The position game has been divided into six positions (goalkeeper, central Back, fullback, midfielders, winger, and forward). For comparisons involving smaller sample sizes where chi-squared tests were not appropriate ($n < 5$), Fisher's exact tests were employed. Given the small sample sizes in some categories, we calculated the effect size to complement the statistical analysis, whose power may be limited. The effect sizes for these tests were quantified using Cohen's w , with effect sizes considered trivial for $w = 0.10$, moderate for $w = 0.30$, and large for $w = 0.50$. The significance threshold was set at $p < 0.05$ for all tests.

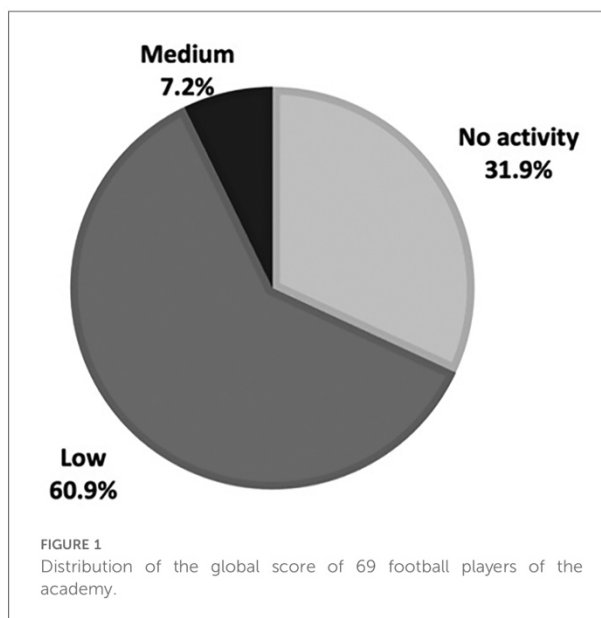
3 Results

3.1 Global score and the score of reflex activities

The results showed that 42 players had a low GS (60.9%), 5 had a medium GS (7.2%), and 22 had a null GS (31.9%) (Figure 1). No football player had a GS higher than medium (i.e., high and maximal).

Football players with a GS equal to or higher than low had an average of 2 active PR. Moreover, 81.2% of football players demonstrated at least one active PR, and 23.0% had more than 2 active PR.

The distribution of scores was different between the PR tested ($\chi^2 = 83.579$, $df = 24$, $p = 1.621 \times 10^{-8}$, Cohen's $w = 1.87$): four of the football players scored at 3 (MR 2.9%; TLR EXT 2.9%; TLR FLX 4.3%; STNR FLX 1.4%), and only two football players (2.9%) obtained the maximum score of 4 in the MR. The TLR EXT, when considering all players who were tested at level 1 or higher, was observed in 55.1% of the football players, making it the most observed persistent PR. Conversely, the STNR EXT was the least observed PR, noted in only 5.8% of the football players (Table 2).



3.2 Global scores: player's position and age of birth

No significant difference in GS was observed regarding player's playing positions ($\chi^2 = 3.6146$, $df = 10$, $p = 0.9$, Cohen's $w = 0.30$). Similarly, no significant difference ($\chi^2 = 11.198$, $df = 10$, $p = 0.4$, Cohen's $w = 0.40$) was observed as regards the age of the players (Figure 2).

3.3 Global scores and upgrade

Table 3 shows the distribution of GS within the two groups of upgraded and non-upgraded football players. A significant difference in the distribution of reflex scores was observed between

TABLE 2 Distribution of activity levels of primitive reflexes.

PR	N % total of integrated primitive reflexes	Score of PR activities			
		N % low activity	N % medium activity	N % high activity	N % maximal activity
MR	49 71.0%	10 14.5%	6 8.7%	2 2.9%	2 2.9%
TLR FLX	42 60.9%	15 21.7%	9 13.0%	3 4.3%	0 0.0%
TLR EXT	31 44.9%	20 29.0%	16 23.2%	2 2.9%	0 0.0%
ATNR R	54 75.4%	13 21.7%	2 2.9%	0 0.0%	0 0.0%
ATNR L	49 71.0%	12 18.8%	6 10.1%	0 0.0%	0 0.0%
STNR EXT	65 94.2%	4 5.8%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%
STNR FLX	60 86.9%	8 11.6%	0 0.0%	1 1.4%	0 0.0%

ATNR, asymmetrical tonic neck reflex; STNR, symmetrical tonic neck reflex; TLR, tonic labyrinthine reflex; L, left; R, right; EXT, extension; FLX, flexion.

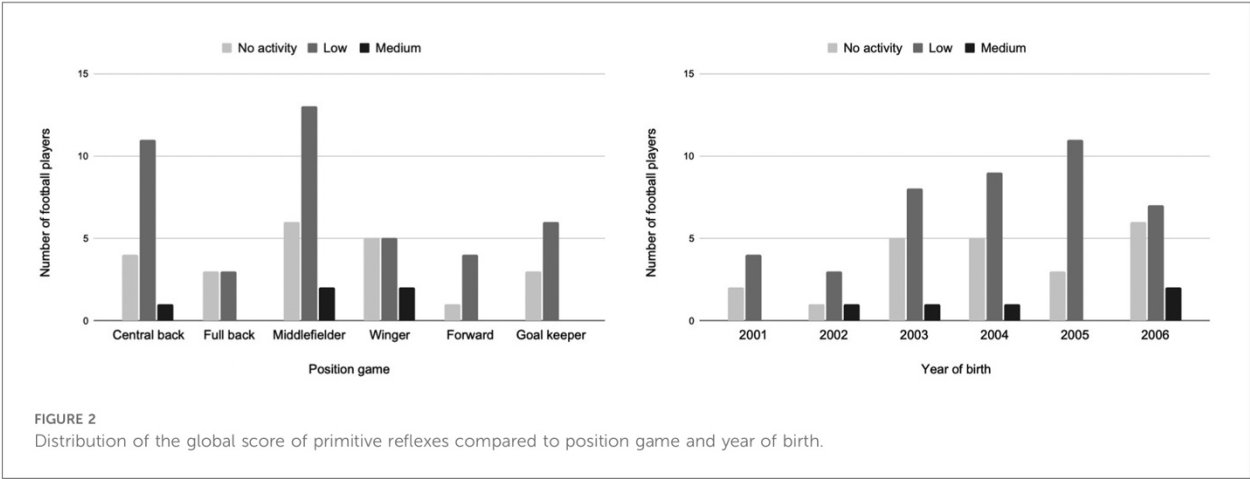


TABLE 3 Distribution of global score compared to the upgraded football players.

GS	Non-upgraded players (n)	Upgraded players (n)
No activity	42.6% (20)	9.1%* (2)
Low	55.3% (26)	72.7% (16)
Medium	2.1% (1)	18.2%* (4)
High	0.0% (0)	0.0% (0)
Maximal	0.0% (0)	0.0% (0)

*Indicates a significant difference between upgraded and non-upgraded football players ($p < 0.02$).

upgraded and non-upgraded players using Fisher’s exact test ($p = 0.006355$, Cohen’s $w = 0.40$). The proportion of players with a null GS was significantly higher in the non-upgraded ($n = 20$) than that in the upgraded players ($n = 2$) ($p = 0.005$). Conversely, the proportions of players with a low GS did not show any significant differences between the upgraded and non-upgraded players ($p = 0.2$). Among the players with a medium GS tested, the proportion of non-upgraded players was significantly lower ($n = 1$) than that in the upgraded players ($n = 4$) ($p = 0.03$).

4 Discussion

This study aimed to evaluate the persistence and the prevalence of active PR in a population of young high-level football players (age, 17.0 ± 1.5 years). According to previous research on the persistence of PR in healthy children, our results showed that a large proportion of football players involved in this study still have active PR. The presence of PR is even more visible in the upgraded population, who showed more active PR than players who were not upgraded. However, the playing position and calendar age groups did not significantly influence the distribution of active PR. 81.2% of our football players demonstrate at least one PR active while no GS scored higher than medium. These results are consistent with those of a previous study, which was conducted in a healthy preschool and school population that reported no maximal GS (23). However,

two midfielder players who were upgraded in the 15- and 17-year categories were found to have the MR at a maximal level. Previous authors also reported that the MR was the most frequently expressed PR at the maximum level (17).

The GS depends on both the level of active PR and the number of active PR. Our results revealed that levels of activity were significantly different according to the PR tested. The STNR EXT was active in 5.7% of football players, while the TLR EXT was active in 54.3%. We observed five active PR rated 3 or more during testing. Previous studies on PR have reported that even a low GS can negatively affect the motor organization in the child population (22). The active PR negatively diminishes the ability to perform physical tasks and learning in young children. Goddard Blythe and Beuret (11) showed that symmetric tonic neck reflex (STNR) affects children when learning the breaststroke: “Each time the head is raised to keep it out of the water, the feet start to sink, making it very difficult to keep the body on the top of water.” Pecuch et al. (17, 18) recently confirmed that active tonic PR is associated with poor balance (reverse and forward) and difficulty jumping over a cord, performing jumping jacks, or rolling around the long axis of the body. Recently, Kalemba et al. (34) showed the correlation between active PR (ATNR, STNR) and clock reading difficulty.

Bogdanovića et al. (32) reported in a case study on swimming proficiency that only 25% of active PR increase the difficulty of swimming proficiency and learning to swim with the child in otherwise good health and without a learning difficulty. Each of the four tested PR has a distinct effect on motor and learning abilities in the healthy population (35, 36). Indeed, it has been reported that the ATNR can alter the way the pelvis moves and positions itself during walking and is associated with difficulty crossing the midline of the body and asymmetry in the muscle tone (6, 22). The STNR has been linked with difficulties in learning abilities and postural balance (18, 37). The TLR in extension, can alternate not only coordination and posture but also a hypertone due to hyperextension of the posterior chain. Conversely, the TLR in flexion induced a hypotony and a precarious balance (11). The MR is linked to context and environment. Such an activated PR can create feelings of

insecurity and danger translated by the creation of uncontrolled movements related to their level of activity (38, 39). The MR may be involved in some skill difficulties, such as, when heading the ball in football. In response to the observed general alignment in the literature regarding primitive reflexes and healthy subjects, it is crucial to consider the specific demographic characteristics of the populations involved. While our findings corroborate the general patterns observed, the demographic nuances of our study's population highlight the need for targeted interventions tailored to specific age groups and activity levels.

An important observation in this study was the distribution of GS in upgraded players who presented a significantly higher rate of active PR than non-upgraded players (Figure 2). While the difference was statistically significant, the effect size was moderate ($w = 0.40$). The specificity of this upgraded population lies in their being the younger players within their team, where the understanding of the game and the technical and physical levels surpass those typical of their age category. This gap between categories could create an emotional factor inappropriate for good motor development or for keeping PR integrated. As noted earlier, the MR has been tested at the maximal level only in upgraded players. MR induces an involuntary response during a rear imbalance, and it could be inconvenient during aerial play, where contact with the opponent could throw the player backward. Moreover, this active PR can induce an environment not only by the creation of stress and fear but also by being followed up by higher levels of cortisol (40). As previously demonstrated, an explanation for higher prevalence could be linked to the fact that the prevalence of active PR decreases with increasing age (41). However, the current results did not point to a specific effect of age (Figure 2). Hence, an alternative explanation could be that the early integration of young football players into higher-age categories could create an inappropriate environment for their physical and emotional development (38, 39). The present results suggested that the playing position in football did not show any significant differences between the GS.

The present findings should be considered with some limitations. The study only focused on male football players aged between 15 and 19 years old. It would be interesting if further research investigated GS in adult women's football populations. In addition, the methods used to determine GS and to test PR are subjective tests. Although they were conducted in accordance with the recommendations of the INPP screening test (6), there is no evidence of their validity for young adults. Hence, validating them in a future study of this population is necessary. Moreover, the persistence of PR was tested by assessing observable responses to specific stimuli, but we did not consider the specific evaluation of the contribution of the different somatic sub-system, specifically the vestibular system. This should be assessed in future studies.

Future studies should evaluate the relationship between active PR with motor skills in the healthy population. For example, research conducted on PR and motor abilities in children (4–6 years) has shown that the level of activity of PR affects motor skills even if this level is low (11, 23). Indeed, the involuntary

movement generated by an active PR might interfere with optimal movement and motor skills (18, 28). However, the current results showed that it was the upgraded football players who had the most active PR. Therefore, such involuntary movement caused by active PR could indicate a specific lack of motor skills or development as well as neuromotor immaturity and is not correlated with the player level. More specifically, the effects of active PR may depend on the situation the player is in. Active PR may have negative effects in one context (e.g., increased imbalance per rotation with the ATNR) and positive effects in another (e.g., enhanced rotation speed with the ATNR).

As a starting point, this study opens a new approach to motor proficiency in high-level football players or sports areas. Indeed, we can hypothesize that the environment induced by high-level demands can create a favorable ground for PR activation or observing an active PR can be an indirect information on possible vestibular system dysfunction. Additionally, it raises the question of whether the football players had initially correctly integrated the PR, but that the high-level practice of a single activity (here football) for years does not allow their integration by the central nervous system to be maintained in the long-term.

In conclusion, the present study showed that PR are still largely active in high-level football players, notably on upgraded players, independently of age and playing position. Further studies are needed to evaluate how and to what extent active PR could be linked to injuries and alter the player's motor organization and comportment during game and training.

Data availability statement

The original contributions presented in the study are included in the article/Supplementary Material; further inquiries can be directed to the corresponding author.

Ethics statement

The studies involving humans were approved by Comité de Protection des Personnes Sud-Méditerranée 4ID-RCB: 2019-A03012-55. The studies were conducted in accordance with the local legislation and institutional requirements. Written informed consent for participation in this study was provided by the participants' legal guardians/next of kin.

Author contributions

JB: Conceptualization, Data curation, Formal Analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Software, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing. TL: Conceptualization, Formal Analysis, Methodology, Supervision, Validation, Writing – review & editing. DY: Writing – review & editing. CG: Methodology, Writing – review & editing.

LM: Conceptualization, Formal Analysis, Methodology, Project administration, Supervision, Validation, Visualization, Writing – review & editing, Funding acquisition.

Funding

The authors declare that no financial support was received for the research, authorship, and/or publication of this article.

Acknowledgments

We express our sincere appreciation to the peer reviewers for their insightful feedback. Our thanks also go to our colleagues for their invaluable assistance throughout this research.

References

- Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match play in the elite soccer player. *J Sport Sci.* (2006) 24(7):665–74. doi: 10.1080/02640410500482529
- Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sport Sci.* (2003) 21:519–28. doi: 10.1080/0264041031000071182
- Patti A, Giustino V, Cataldi S, Stoppa V, Ferrando F, Marvulli R, et al. Effects of 5-week of FIFA 11+ warm-up program on explosive strength, speed, and perception of physical exertion in elite female futsal athletes. *Sports (Basel).* (2022) 10(7):100. doi: 10.3390/SPORTS10070100
- Williams AM, Reilly T. Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci.* (2000) 18(9):657–67. doi: 10.1080/02640410050120041
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. The growth of stability: postural control from a developmental perspective. *J Mot Behav.* (1985) 17(2):131–47. doi: 10.1080/00222895.1985.10735341
- Blythe SG. *Neuromotor Immaturity in Children and Adults: The INPP Screening Test for Clinicians and Health Practitioners.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons (2015).
- Touwen BCL. Primitive reflexes-conceptual or semantic problem. In: Prechtl HFR, editor. *Continuity of Neural Functions from Prenatal to Postnatal Life.* Oxford, Great Britain: Spastics International Medical Publications (1984).
- Capute AJ, Palmer FB, Wachtel R, Accardo P. Primitive reflex profile: quantitation of primitive reflexes in infancy. *Dev Med Child Neurol.* (1984) 26:375–83. doi: 10.1111/j.1469-8749.1984.tb04456.x
- Capute AJ, Shapiro BK, Accardo PJ, Wachtel RC, Ross A, Palmer FB. Motor functions: associated primitive reflex profiles. *Develop. Med. Child Neurol.* (1982) 24:662–9. doi: 10.1111/j.1469-8749.1982.tb13677.x
- Niklasson M, Rasmussen P, Niklasson I, Norlander T. Developmental coordination disorder: the importance of grounded assessments and interventions. *Front Psychol.* (2018) 9:2409. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02409
- Goddard-Blythe S. *Attention, Balance and Coordination: The A.B.C. of Learning Success.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons (2009). doi: 10.1002/9781119164746
- Boes CJ. The history of examination of reflexes. *J Neurol.* (2014) 261(12):2264–74. doi: 10.1007/s00415-014-7326-7
- Zafeiriou DI. Primitive reflexes and postural reactions in the neurodevelopmental examination. *Pediatr Neurol.* (2004) 31(1):1–8. doi: 10.1016/j.pediatrneurol.2004.01.012
- Chinello A, Di Gangi V, Valenza E. Persistent primary reflexes affect motor acts: potential implications for autism spectrum disorder. *Res Dev Disabil.* (2018) 83:287–95. doi: 10.1016/j.RIDD.2016.07.010
- Morrison DC. *Neurobehavioral and Perceptual Dysfunction in Learning Disabled Children.* Lewiston, NY: C.J. Hogrefe (1985).
- Illingworth RS. *The Development of the Infant and Young Child: Normal and Abnormal.* 9th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone (1987).
- Pecuch A, Gieysztor E, Telenga M, Wolańska E, Kowal M, Paprocka-Borowicz M. Primitive reflex activity in relation to the sensory profile in healthy preschool children. *Int J Environ Res Public Health.* (2020) 17(21):1–16. doi: 10.3390/ijerph17218210
- Pecuch A, Gieysztor E, Wolańska E, Telenga M, Paprocka-Borowicz M. Primitive reflex activity in relation to motor skills in healthy preschool children. *Brain Sci.* (2021) 11:8. doi: 10.3390/BRAINSCI11080967
- Hickey J, Feldhacker DR. Primitive reflex retention and attention among preschool children. *J Occup Ther Sch Early Interv.* (2022) 15(1):1–13. doi: 10.1080/19411243.2021.1910606
- Grzywniak C. Role of early-childhood reflexes in the psychomotor development of a child, and in learning. *Acta Neuropsychol.* (2016) 14(2):113–29. doi: 10.5604/17307503.1213000
- Niklasson M, Rasmussen P, Niklasson I, Norlander T. Adults with sensorimotor disorders: enhanced physiological and psychological development following specific sensorimotor training. *Front Psychol.* (2015) 6:480. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00480
- Gieysztor E, Pecuch A, Kowal M, Borowicz W, Paprocka-Borowicz M. Pelvic symmetry is influenced by asymmetrical tonic neck reflex during young children's gait. *Int J Environ Res Public Health.* (2020) 17(13):1–12. doi: 10.3390/ijerph17134759
- Gieysztor EZ, Choińska AM, Paprocka-Borowicz M. Persistence of primitive reflexes and associated motor problems in healthy preschool children. *Arch Med Sci.* (2018) 14(1):167–73. doi: 10.5114/aoms.2016.60503
- McPhillips M, Sheehy N. Prevalence of persistent primary reflexes and motor problems in children with Reading difficulties. *Dyslexia (Chichester).* (2004) 10(4):316–38. doi: 10.1002/DYS.282
- Montgomery R, Nichols C, Ornburn C, Rudd A, Williams L, Smith B. *The effects of persistent asymmetrical tonic neck reflex (ATNR) on reading scores in first and second grade children. Graduate Research and Scholarly Projects.* 57. (2015). Available online at: <https://soar.wichita.edu/handle/10057/11429>
- Sohn M, Youngmee A, Sangmi L. Assessment of primitive reflexes in high-risk newborns. *J Clin Med Res.* (2011) 3(6):285–90. doi: 10.4021/jocmr706w
- McPhillips M, Jordan-Black JA. Primary reflex persistence in children with reading difficulties (dyslexia): a cross-sectional study. *Neuropsychologia.* (2007) 45(4):748–54. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.08.005
- Goddard S. The role of primitive survival reflexes in the development of the visual system. *Journal of Behavioral Optometry.* (1995) 6:2–31.
- Niklasson M. *The Importance of Grounded Assessments and Interventions: Towards a New Framework for Developmental Coordination Disorder.* Bolton, UK: University of Bolton (2020).
- Halabchi F, Abbasian L, Mirshahi M, Mazaheri R, Pourgharib Shahi MH, Mansournia MA. Comparison of static and dynamic balance in male football and

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

The authors declared that they were an editorial board member of Frontiers, at the time of submission. This had no impact on the peer review process and the final decision.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

basketball players. *Foot Ankle Spec.* (2020) 13(3):228–35. doi: 10.1177/1938640019850618

31. Bruijn SM, Massaad F, MacLellan MJ, Van Gestel L, Ivanenko YP, Duysens J. Are effects of the symmetric and asymmetric tonic neck reflexes still visible in healthy adults? *Neurosci Lett.* (2013) 556:89–92. doi: 10.1016/j.neulet.2013.10.028

32. Bogdanoviča I, Lāriņš V. Case study of primitive reflexes impact on swimming skill acquisition by healthy children. *Undefined.* (2020) 6:89. doi: 10.17770/SIE2020VOL6.5180

33. Capute AJ, Accardo PJ, Vining EPG, Rubenstein JE, Walcher JR, Harryman S, et al. Primitive reflex profile. *Int J InterDiscip Soc Sci Ann Rev.* (1978) 58(9):1061–5. Available online at: <https://academic.oup.com/ptj/article-abstract/58/9/1061/4559921>

34. Kalembe A, Lorent M, Blythe SG, Gieysztor E. The correlation between residual primitive reflexes and clock reading difficulties in school-aged children—a pilot study. *Int J Environ Res Public Health.* (2023) 20:2322. doi: 10.3390/ijerph20032322

35. Bilbilaj S, Gjipali A, Shkurti F. Measuring primitive reflexes in children with learning disorders. *Eur J Multidiscip Stud.* (2017) 5(1):285. doi: 10.26417/ejms.v5i1.p285-298

36. Hazzaa N, Shalaby A, Hassanein S, Naeem F, Khattab A, Metwally N. Assessment of balance functions and primitive reflexes in children with

learning disability. *Ain Shams Med J.* (2021) 72(1):97–103. doi: 10.21608/ASMJ.2021.167357

37. Pecuch A, Kolcz-Trzęsicka A, Żurowska A, Paprocka-Borowicz M. Psychomotor disorders assesment in 4–6 year-old children with INPP test battery. *Nurs Public Health.* (2018) 8(1):11–20. doi: 10.17219/pzp/75487

38. Edwards CW, Al Khalili Y. Moro reflex. In: *StatPearls.* Treasure Island, FL: StatPearls Publishing (2024). PMID: 31194330.

39. Rousseau PV, Matton F, Lecuyer R, Lahaye W. The Moro reaction: more than a reflex, a ritualized behavior of nonverbal communication. *Infant Behav Dev.* (2017) 46:169–77. doi: 10.1016/j.infbeh.2017.01.004

40. Grillon C, Pine DS, Baas JMP, Lawley M, Ellis V, Charney DS. Cortisol and DHEA-S are associated with startle potentiation during aversive conditioning in humans. *Psychopharmacology.* (2006) 186(3):434–41. doi: 10.1007/s00213-005-0124-2

41. Gieysztor E, Sadowska L, Chosińska A. The degree of primitive reflexes integration as a diagnostic tool to assess the neurological maturity of healthy preschool and early school age children. *Nurs Public Health.* (2017) 7(1):5–11. doi: 10.17219/PZP/69471

Étude n°2 : Active primitive reflexes obstruct tactical and technical skills in football players.



Journal of Sports Sciences



ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: www.tandfonline.com/journals/rjsp20

Active primitive reflexes obstruct tactical and technical skills in football players

Julie Bastiere, Thibault Lussiana, Aurélien Patoz, Cyrille Gindre & Laurent Mourot

To cite this article: Julie Bastiere, Thibault Lussiana, Aurélien Patoz, Cyrille Gindre & Laurent Mourot (01 Dec 2024): Active primitive reflexes obstruct tactical and technical skills in football players, Journal of Sports Sciences, DOI: [10.1080/02640414.2024.2434800](https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2434800)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2434800>



© 2024 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group.



[View supplementary material](#)



Published online: 01 Dec 2024.



[Submit your article to this journal](#)



Article views: 19



[View related articles](#)



[View Crossmark data](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=rjsp20>

Active primitive reflexes obstruct tactical and technical skills in football players

Julie Bastiere^{a,b}, Thibault Lussiana^{a,c,d}, Aurélien Patoz^d, Cyrille Gindre^{a,c,d} and Laurent Mourot^{a,e}

^aUniversité de Franche-Comté, Besançon, France; ^bESTAC association, Troyes, France; ^cResearch and Development Department, Chavéria, France; ^dResearch and Development Department, Aigle, Switzerland; ^eDepartment of biological science, Faculty of Science, Thompson Rivers University, Kamloops, BC, Canada

ABSTRACT

Primitive reflexes (PRs) are involuntary motor responses present at birth, typically replaced by voluntary motor control during development. If PRs remain active beyond infancy, they can impair motor and cognitive abilities. This study investigated the correlation between active PRs and Tactical (TaS) and Technical Skills (TeS) in professional football matches. Fifty-eight male football players (17.5 ± 1.4 years) from a French academy were assessed for PR activity, categorized into inactive or active PR groups. Assessed PRs included asymmetrical tonic neck reflex (ATNR), symmetrical tonic neck reflex (STNR), tonic labyrinthine reflex (TLR), and Moro reflex (MR). Analysis of twenty matches showed players with active PRs had significantly lower success rates in TaS and TeS, including 15.5% and 31.8% lower pass success in imbalance and finishing zones ($p < 0.01$). Players with active PRs also performed worse in defensive actions and duels ($p < 0.01$). The findings highlight that active PRs hinder football performance, especially in challenging match situations like duels and crowded zones. This suggests the need for training programs to address PR effects and enhance player performance. Further research should refine methods for integrating these PRs.

ARTICLE HISTORY

Received 8 August 2024
Accepted 20 November 2024

KEYWORDS

Performance; Neuroscience;
Neurodevelopment; Training

Introduction

Many different skills are needed for football performance (Ali, 2011; Williams & Reilly, 2000). Commonly recognized ones are Tactical Skills (TaS) which are actions in response to dynamic matches situations and Technical Skills (TeS) such as passing, dribbling, shooting, or controlling (Bozkurt & Kucuk, 2018; Gréhaigne & Godbout, 1995; Portillo et al., 2020). To demonstrate these TaS and TeS, players must be able to meet the physical (e.g., strength, speed, and agility) and cognitive (e.g., learning abilities, decision-making, and perception) demands of a football match (Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2003; Sabarit et al., 2020).

The evaluation of TaS and TeS relies on specific assessments such as spacing between lines or coordination among players for TaS (Low et al., 2020), and dribbling or one-on-one scenarios for TeS (Caetano et al., 2019; Clemente et al., 2016; Duarte et al., 2012) in relation to intrinsic qualities (e.g., physical or cognitive) necessary for high-level practice (Bangsbo et al., 2006). These intrinsic qualities have a direct impact on TaS and TeS and can influence players' performance (Akenhead & Nassis, 2016; Iaia et al., 2009). For example, it has been recognized that cognitive processes can play a crucial role in TeS and TaS development. Indeed, inadequate cognitive training can impair the effectiveness of technical and tactical actions during gameplay (Teodorescu & Gheorghe, 2014).

Primitive reflexes (PRs) are among the factors that could diminish physical and cognitive skills. PRs are present at birth and allow a gradual transition from involuntary motor skills

generated by the brainstem to voluntary motor skills from the cerebral nervous system (Illingworth, 1987). Active PRs are progressively integrated during the first years of life concurrently with the enhancement of motor skills (e.g., eye/hand coordination, cross-coordination upper/lower limbs, quadrupedia, and then walking) (Capute et al., 1982; Illingworth, 1987). Despite the general acceptance of an early integration, it has been previously reported that active PRs could still be present in the general population independently of age (Damasceno et al., 2005). The consequences of not integrating PRs are numerous, including declines in various motor, psychological, and cognitive functions (Goddard-Blythe, 2005; McPhillips & Sheehy, 2004; Niklasson & Niklasson, 2022).

PRs may have a direct impact on a player's ability to effectively respond to the spatio-temporal demands of a match. When PRs remain active, they disrupt voluntary motor coordination and rapid decision-making, both of which are critical in situations where space is limited or time is constrained (Goddard, 1995; McPhillips & Sheehy, 2004). For example, in scenarios where multiple players are concentrated in the same area, a player with active PRs may struggle to anticipate others' movements, quickly adjust their position, or execute technical skills under pressure. Although direct evidence in adult athletes is limited, previous studies have suggested that incomplete integration of PRs impairs motor skills and cognitive processing in young populations (Damasceno et al., 2005; Teodorescu & Gheorghe, 2014). This condition could lead to a decrease in the accuracy and fluidity of technical skills (TeS) such as dribbling,

CONTACT Julie Bastiere  j.bastiere@estac.fr  Université de Franche-Comté, ESTAC association, 11 rue Marie Curie, Besançon F-25000, France

 Supplemental data for this article can be accessed online <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2434800>

© 2024 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited, and is not altered, transformed, or built upon in any way. The terms on which this article has been published allow the posting of the Accepted Manuscript in a repository by the author(s) or with their consent.

passing, or controlling the ball, as well as tactical skills (TaS) like real-time decision-making, team coordination, or managing duels. However, it is important to note that this interpretation is based on indirect data, and while an association between active PRs and reduced performance under spatio-temporal constraints could be hypothesized, direct evidence remains to be established.

Unfortunately, few studies about PRs in the field of sports performance exist. For instance, previous research focused on 7-year-old children that learnt swimming (Bogdanoviča & Lāriņš, 2020). The results showed that having active PRs increased the time required to assimilate technical gestures and skills quality during swimming. Indeed, children with 8% of active PR achieved a level of swimming proficiency of 77% compared with 33% for children with more than 25% of active PR (Bogdanoviča & Lāriņš, 2020). Although this study described the negative impact of PRs during training on performance levels and learning abilities, the links between PRs and motor skills have not been deeply studied, especially among young and adult athletes targeting high-level performance (Bastiere et al., 2024).

Hence, the main objective of this study was to evaluate whether the presence of active PRs could alter football performance. More specifically, we hypothesized that players with active PR would have poorer TaS and TeS skills during matches, especially when players evolve under spatial and temporal constraints, such as a high number of players in the same area, limited time to play, or proximity to an opponent (duels).

Methodology

To conduct this study, the gameplay of players during championship matches over an entire football season was analysed. The players were divided into two groups based on the presence of PRs (see PR evaluation section). The success rates of various selected skills during the matches were compared between the two groups. Additionally, skills were categorized according to playing positions to maintain the integrity of the game's dynamics for certain skills. For example, central defenders were excluded from the analysis of passes in the finishing zone, and attackers were excluded from passes in the attraction zone (see match data section).

Participants

All players from the academy ($n = 58$) of a French professional club who met the inclusion/exclusion criteria were included in this research. Eligible players required over five years of training in a sports club before joining the academy and had to be

injury-free for at least one month prior to the PR evaluation. Each player participated in 3 to 9 matches (270 to 810 minutes) for the evaluation of the success rates of TaS and TeS. Participant characteristics are detailed by global score (see PR evaluation section) and position in Table 1. In addition to the anthropometric data (age, height, and weight), we performed a series of athletic tests to assess the physical capabilities of the players, including measures such as speed, endurance, and lower limb power (counter movement jump and drop jump). However, since the results of these tests did not reveal significant differences between groups, they are not presented for sake of clarity.

All participants provided informed consent prior to their inclusion in the study. Each individual's data was handled and stored in accordance with the principles of confidentiality and privacy. The study was conducted in accordance with the guidelines of the Declaration of Helsinki.

Details of the distribution of participants by the activity of each PR are available in Annexe A (Table A).

Match data

Twenty matches were studied during the regular season, focusing on three teams from the academy at both the U17 and U19 national levels, and the fifth national division. The distribution of matches was as follows: seven matches for the U17 team, seven for the U19 team, and six for the fifth national division team. All matches were played at home. These matches were filmed and subsequently analysed by three video analysts from the training centre who randomly assessed the three teams in a blinded manner, i.e., without knowledge of the results from PR tests conducted throughout the season. Skills observed were categorized into TaS and TeS.

TaS were categorized based on passes made in different areas of the field and movements during defensive transitions (Caicedo-Parada et al., 2020; Héros, 2022). All passes made during the matches were recorded and categorized as successful or unsuccessful. Maintaining possession of the ball was considered a success, while losing possession was considered a failure. The zones where the passes were made were the attraction zone (AZ), in front of the opposing midfielders; imbalance zone (IZ), between the opposing midfielders and defenders; and finishing zone (FZ), behind the opposing defensive line. The success of defensive actions was defined as "recovering the ball or closing a passing lane, thereby preventing the progression of the ball". Failure was defined as "not intercepting the ball or not closing a passing lane, thereby facilitating the progression of the ball".

Table 1. Distribution of general characteristics of participants by global score and by position.

Positions	Group	N	Age (y)	Height (cm)	Mass (kg)
All	Active PR	17	17.7 ± 1.5	178.8 ± 6.9	70.2 ± 7.3
	Inactive PR	42	17.6 ± 1.4	177.8 ± 6.0	68.8 ± 6.4
Defensive and offensive midfielders, and full and centre back	Active PR	13	17.5 ± 1.3	178.5 ± 6.4	68.7 ± 6.2
	Inactive PR	29	17.8 ± 1.5	178.3 ± 6.7	69.5 ± 6.8
Defensive and offensive midfielders, full back, winger, and forward	Active PR	32	17.9 ± 1.6	176.8 ± 7.1	69.0 ± 8.0
	Inactive PR	37	17.6 ± 1.5	176.6 ± 5.4	67.5 ± 5.5

No significant difference was reported between groups.

TeS included overground duels and aerial duels, recorded by their successes and failures. Success was defined as keeping or regaining possession, while failure was defined as losing possession or failing to regain it. Fouls whistled by the referee were also recorded (Kraynik et al., 2019).

The skills recorded varied by player position. For all positions, the recorded skills included fouls, overground duels, and aerial duels. For defensive and offensive midfielders, as well as full backs and centre backs, the recorded skills also included defensive actions and passes in the attraction zone. For defensive and offensive midfielders, full backs, wingers, and forwards, the recorded skills included passes in the imbalance zone and passes in the finishing zone. This categorization ensures the analysis respects the different roles and responsibilities associated with each position on the field.

Experimental procedure

Primitive reflex evaluation

The evaluation of PRs took place during the football pre-season in July 2022, following the mid-season break in June. PRs were assessed using the methodology established by the Institute of Neurophysiological Psychology (INPP). Four specific PRs were selected for this study due to their demonstrated relationship with decreases in motor tasks when not integrated (E. Z. Gieysztor et al., 2017; Goddard Blythe, 2015).

- The asymmetrical tonic neck reflex (ATNR) was assessed while standing, feet together, arms forward at shoulder height, eyes closed, wrists flexed, and hands relaxed. The test consisted of a rotation of the head on both sides induced by the practitioner (left side: ATNR L and right side: ATNR R). The movement is continuous with a pause for 5-10 s at the end of each rotation or neutral position. Before starting, the practitioner informed the participant that they must keep their arms forward without moving. The involuntary movement is observed in the function of movement of the hand or arm on the side to which the head was turned, such as a lowering or deviation of the arms.
- The tonic labyrinthine reflex (TLR) was tested in a standing position, feet together and eyes closed. The test was performed following two manipulations. The first consisted of an extension of the head (TLR EXT) and the second in a flexion (TLR FLX) of the head. The movement is continuous with a pause for 5 s at each end of the movement (i.e., head extension and head flexion). The involuntary movement is evaluated based on loss or alteration of balance, such as swaying or falling backward or forward during the test.

- The symmetrical tonic neck reflex (STNR) was tested in a quadruped position (hands below shoulders and knees below hips). The instruction for the participant is to hold the quadruped position during the movement of the head during flexion (SNTR FLX) or extension (STNR EXT). The movement is continuous with a pause for 5 s at each end of the movement (i.e., head extension and head flexion). The involuntary movement is rated in the function of the tremors in one or both arms or hip movements, bending of the arms due to flexion of the head, or arching of the back.
- The Moro reflex (MR) is tested standing, feet joined, arms forward at shoulder height, eyes closed, wrists flexed, hands relaxed, and the head back. After clearly explaining the test and asking if the participant was ready, the subject was asked to drop into the hands of the practitioner by a back rocker. The involuntary movement is observed based on the abduction of the arms or any signs of distress or imbalance during the test.

Each PR was assessed on a subjective scale ranging from 0 to 4, in increments of 1, based on observed involuntary movements following specific tasks or stimulations. A rating of 0 indicated inactive PR activity (i.e., no involuntary response to stimuli during the test), while a rating of 4 indicated maximal PR activity (i.e., significant involuntary movements in response to stimuli during the test). The PRs were evaluated only once by the same examiner, an expert in this field. The details of the PR activity scoring scale are available in supplementary material (Scoring Sheet – Primitive Reflexes Scales).

The overall level of PRs activation was evaluated by calculating a global score (GS), which corresponds to the sum of the individual test scores (Pecuch et al., 2021). The GS allows for the assessment of PR activation strength across five categories: <10% (null), ≥10% and <25% (low), ≥25% and <50% (medium), ≤50% and <75% (high), and ≥75% (maximal) (Blythe, 2005; Goddard Blythe, 2015). Participants were systematically categorized into two groups based on their scores: the inactive PR group, when the GS was null or when individual PR test yielded a score of 0, and the active PR group, when the GS was “low” or higher, or when individual PR test yielded a score greater than 0. The results are presented according to this classification, reflecting both the total activity of PRs and the activity of individual PRs (Table 2).

Statistical analysis

All analyses were conducted using Python (v3.8.16, retrieved from <http://www.python.org>). Descriptive statistics are given as mean ± standard deviation. The success rates were calculated based on raw data collected during

Table 2. Classification of group by primitive reflex (PR) activity and global score (GS).

Group	PR activity score	Sum of PR activities	GS	PR activity (%)
Inactive PR	0	0-2	No-activity	≤7 (no abnormal activity)
Active PR	1	3-7	Low	8 - 25%
	2	8-13	Medium	25 - 50%
	3	14-20	High	50 - 75%
	4	21-28	Maximal	75 - 100%

matches, by determining the ratio of successes to attempts for each skill and each player. These rates were then averaged according to the groups with either inactive or active PRs. To standardize the data, they were normalized to 100 minutes of playing time before calculating the success rate for each skill for each player. Cohen's d was calculated for key comparisons to provide a better understanding of the magnitude of differences between the groups (e.g., active vs. inactive PRs). Pearson's correlation coefficient was initially calculated to explore potential relationships between age and performance metrics across different player positions. Given the lack of significant age-related correlations and the homogeneous age distribution across samples, independent t -tests were used for group comparisons. Data normality was assessed using Shapiro–Wilk tests. Mann–Whitney U tests were applied when normality was not verified, while t -tests were used otherwise (assuming equal variance). We ensured that each metric was measured independently and reported only once per subject, avoiding any reuse of the same metric in different tests. This approach helps to prevent inflating the risk of Type I errors. The level of significance was set at $p \leq 0.05$.

Results

The success rates for both TaS and TeS in the active and inactive PR groups are presented in two parts: 1) the success rates (TaS and TeS) based on the overall activity of players and 2) the success rates based on the activity of each PR.

Success rate and global PR activity

Tactical Skills

The pass success rate within or from the AZ did not differ significantly between the two groups. However, the active PR group had a significantly lower pass success rate, 15.5% lower in the IZ and 31.8% lower in the FZ ($p \leq 0.01$, $d = 0.87$ for IZ, $d = 1.22$ for FZ), compared to the inactive PR group (Figure 1).

For defensive actions (Figure 2), similar trends were observed, with the active PR group having a 20.7% significantly lower average success rate ($p = 0.01$, $d = 0.94$) compared to the inactive PR group.

Technical Skills

The results showed that the average success rates of TeS are significantly lower in the active PR group. Specifically, over-ground duels have a 34.2% ($p = 0.001$, $d = 1.73$) lower success rate, and aerial duels have a 26.0% ($p = 0.01$, $d = 0.90$) lower success rate on average (Figure 3).

Similarly, the number of fouls during matches was higher by an average of 0.4 ($p = 0.02$, $d = -0.58$) fouls per 100 minutes of playing time for the active PR group (Figure 4).

Success rate and each PR activity

Tactical Skills

The success rates of all analysed TaS are presented in Table 3 based on the activity score of each tested PR.

The tactical zones of the field showed lower success rates when PRs are active. In the IZ and FZ zones, the average success rate is significantly lower for the group with an active ATNR R, with a reduction of nearly 15% in the IZ ($p = 0.003$, $d = -1.09$) and up to 34.8% in the FZ ($p < 0.001$, $d = -1.48$) compared to the group with an inactive PR. Specifically, in these two zones (IZ and FZ), three out of the seven tested PRs show lower success rates when they are active: ATNR R for both zones, MR for the FZ ($p < 0.01$, $d = -0.64$), and STNR (in both positions) for the IZ (EXT : $p < 0.05$, $d = -0.90$; FLX : $p < 0.05$, $d = -0.61$). Conversely, the AZ zone did not appear to be a zone where active PR group lower the success rate of passes. Only STNR EXT showed a higher success rate, with an increase of 3.7% for the active PR group.

Defensive actions showed lower success rates in players from the active PR group for all tested PRs (i.e., in at least one of the tested PR positions). The success rates were significantly reduced, with average decreases of up to 25.5% ($p = 0.004$, $d = -1.41$) for TLR EXT, 17.1% ($p = 0.001$, $d = 0.72$) or ATNR R, 14.8% ($p = 0.004$, $d = -0.64$) for MR, and 8.4% ($p = 0.02$, $d = -0.35$) for STNR EXT.

Technical Skills

The success rates of all analysed TaS are presented in Table 3 based on the activity score of each tested PR.

Overground duels showed similar results. The success rate was significantly lower for each tested PR (i.e., in at least one of the tested PR positions; $p < 0.05$) except for the TLR (EXT and

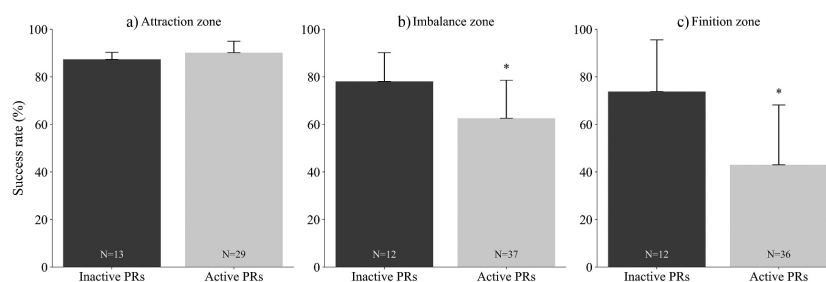


Figure 1. Comparative analysis of tactical skill success rates between active and inactive PR groups in passing across the (a) attraction zone, (b) imbalance zone, and (c) finishing zone as defined by the opponent's defensive block. * significant difference between inactive and active PR groups ($p \leq 0.05$).

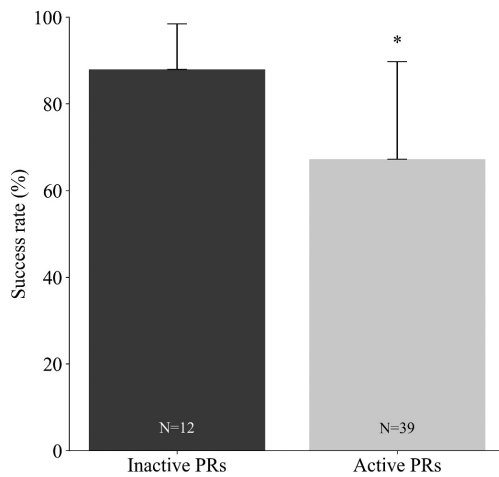


Figure 2. Comparative analysis of tactical skill success rates between active and inactive PR groups in defensive actions. * significant difference between inactive and active PR groups ($p \leq 0.05$).

FLX). When the ATNR R was active, the success rate was, on average, 34.2% ($p < 0.001$, $d = -1.85$) lower for the active group, 24.5% ($p < 0.001$, $d = -1.13$) lower for the MR, and 16.7% ($p = 0.005$, $d = -0.71$) lower for the STNR EXT.

Aerial duels showed significantly lower success rates in the active PR group for 6 out of the 7 tested ($p < 0.05$). The success rate of aerial duels was on average 34.4% lower when the STNR EXT was active, and approximately 20% lower when the MR, TLR FLX, and STNR FLX were active.

The number of fouls during matches was significantly higher in the active PR group only when 2 of the 7 are active. The MR, when active, showed an average increase of 0.6 ($p < 0.001$, $d = 1.11$) fouls, and the ATNR R showed an average increase of 0.4 ($p < 0.001$, $d = 0.84$) fouls per 100 minutes of total playing time.

Discussion

The results of this study validate our hypothesis that active PRs can significantly impair the TaS and TeS of young football players. Specifically, we hypothesized that players with active PRs would exhibit poorer TaS and TeS during matches, particularly under spatial and temporal constraints, such as a high density of players in the same area, limited time for decision-making, or close proximity to an opponent during duels. The Cohen's d values observed in this study ranged from moderate to large, indicating that the differences between the active and inactive PR groups are not only statistically significant but also meaningful in practical terms. For example, the large effect sizes (e.g., $d = 1.73$ for overground duels) suggest a considerable impact of active PRs on performance.

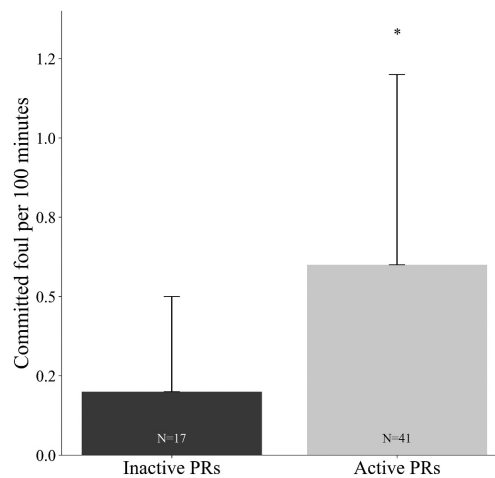


Figure 4. Comparative analysis of technical skill success rates between active and inactive PR groups in fouls. * significant difference between inactive PR and active PR groups ($p \leq 0.05$).

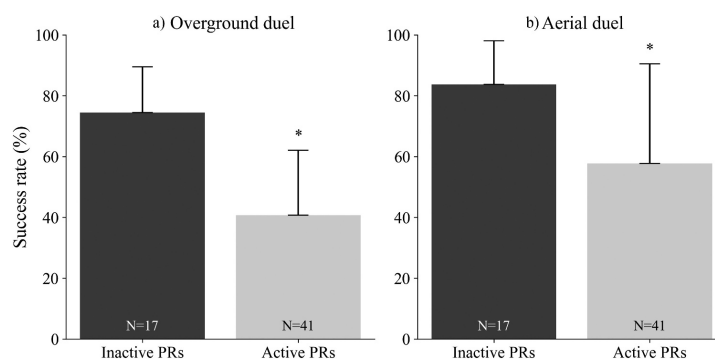


Figure 3. Comparative analysis of technical skill success rates between active and inactive PR groups in (a) overground duel and (b) aerial duel. * significant difference between inactive PR and active PR groups ($p \leq 0.05$).

Table 3. The success rate of tactical skills (TaS) for each primitive reflex (PR) and both active and inactive PR groups.

TaS	Primitive reflex	Inactive PR group Mean $\pm$ SD	Active PR group Mean $\pm$ SD	Mean Difference	Cohen's d
Attraction zone (%)	MR	88.9 $\pm$ 4.0	90.4 $\pm$ 4.5	1.5	0.35
	ATNR L	88.5 $\pm$ 4.4	90.0 $\pm$ 4.4	1.5	0.34
	ATNR R	87.4 $\pm$ 2.9	92.2 $\pm$ 4.8	4.8	1.21
	STNREXT	88.1 $\pm$ 4.1	91.8 $\pm$ 4.2	3.7	0.89
	STNRFLX	89.0 $\pm$ 4.1	89.9 $\pm$ 5.1	0.9	0.19
	TLREXT	88.2 $\pm$ 3.4	89.4 $\pm$ 4.5	1.2	0.30
	TLRFLX	88.1 $\pm$ 3.1	90.1 $\pm$ 5.0	2	0.48
Imbalance zone (%)	MR	69.0 $\pm$ 16.6	61.0 $\pm$ 15.3	-8	-0.50
	ATNR L	67.5 $\pm$ 17.8	65.7 $\pm$ 15.9	-1.8	-0.11
	ATNR R	78.1 $\pm$ 12.1	62.6 $\pm$ 16.0	-15.5	-1.09
	STNREXT	72.4 $\pm$ 17.8	59.0 $\pm$ 11.1	-13.4	-0.90
	STNRFLX	70.5 $\pm$ 16.6	60.8 $\pm$ 14.9	-9.7	-0.61
	TLREXT	75.3 $\pm$ 14.3	65.4 $\pm$ 16.5	-9.9	-0.64
	TLRFLX	67.7 $\pm$ 17.4	65.9 $\pm$ 16.4	-1.8	-0.11
Finishing zone (%)	MR	56.4 $\pm$ 29.5	40.0 $\pm$ 21.2	-16.4	-0.64
	ATNR L	55.3 $\pm$ 30.3	48.3 $\pm$ 26.5	-7	-0.25
	ATNR R	74.8 $\pm$ 21.8	40.0 $\pm$ 25.2	-34.8	-1.48
	STNREXT	57.7 $\pm$ 27.6	42.2 $\pm$ 26.4	-15.5	-0.57
	STNRFLX	51.5 $\pm$ 29.2	52.2 $\pm$ 26.7	0.7	0.03
	TLREXT	73.0 $\pm$ 28.3	48.4 $\pm$ 27.0	-24.6	-0.89
	TLRFLX	62.2 $\pm$ 30.1	47.1 $\pm$ 26.5	-15.1	-0.53
Defensive actions (%)	MR	75.1 $\pm$ 25.3	60.3 $\pm$ 20.7	-14.8	-0.64
	ATNR L	72.2 $\pm$ 27.3	69.6 $\pm$ 23.1	-2.6	-0.10
	ATNR R	83.1 $\pm$ 24.6	65.9 $\pm$ 23.4	-17.2	-0.72
	STNREXT	74.1 $\pm$ 27.2	65.7 $\pm$ 20.2	-8.4	-0.35
	STNRFLX	73.5 $\pm$ 25.6	66.3 $\pm$ 23.2	-7.2	-0.29
	TLREXT	93.9 $\pm$ 5.8	68.5 $\pm$ 24.8	-25.4	-1.41
	TLRFLX	86.1 $\pm$ 11.5	66.5 $\pm$ 27.3	-19.6	-0.94

ATNR = asymmetrical tonic neck reflex; STNR = symmetrical tonic neck reflex; TLR = tonic labyrinthine reflex; L = left; R = right; EXT = extension; FLX = flexion; TeS = Technical Skill. * Significant difference between inactive PR and active PR groups ($p \leq 0.05$) are reported in bold.

Our data reveal that each analysed skill was diminished in players with at least one active PR, except for passing in or from the AZ, where players operate without spatial or temporal stress on the field, allowing them to take advantage of larger spaces and distant opponents. Overall, the presence of active PRs leads to a substantial decrease in key performance metrics critical for success in football. This decline in performance underscores the need for targeted interventions to address and mitigate the effects of active PRs, ensuring that players can perform optimally even in high-pressure game situations.

Global activity of PR and success rate

The study reveals that the global activity of the PR in players significantly reduces the success rate of TaS. Specifically, in critical zones of the field, the presence of an active PR reduces success rates for passes made from the IZ by 15.5% and from the FZ by 31.8% (Figure 1). This decline is particularly detrimental for performance as these zones often determine scoring opportunities and the overall effectiveness of offensive strategies (Ric et al., 2017).

Additionally, the success rate of defensive actions is diminished in the active PR group. This reduction in performance can be attributed to the concept of space-time, which appears to influence task success. Specifically, when the time available for information processing and action is constrained by the context, such as in fast-paced or high-pressure situations, the active PR group exhibits lower success rates. Our data showed that players with active PRs had lower success rates in rapid-response situations, such as duels and passes under pressure, suggesting that these players may struggle with processing spatial and temporal information during high-intensity

gameplay. The associations between active PRs and lower success rates in performance metrics are consistent with findings in the literature, which link motor difficulties to impaired coordination and decision-making under stress (Rousseau et al., 2017; Taylor et al., 2020). Given that psychological factors such as stress and anxiety can severely affect technical and tactical performance (Orosz & Mezo, 2015). While our results suggest a potential impact of active PRs on stress responses during gameplay, this relationship remains to be validated through targeted studies on neurophysiological stress markers in athletes with active PRs (Niklasson & Niklasson, 2022).

For TeS, the proximity with the opponent seems to play a role in capacity to success in duel. The active PR group have shown that success rates are significantly lower for the active PR group. It should be noted that these actions, involving these skills, occur in a short time frame and in a confined space with direct contact with the opponent. Studies have shown that unintegrated PRs can affect motor coordination and response times (McPhillips & Sheehy, 2004), which aligns with our observation that players with active PRs showed lower success rates in dynamic match situations.

Key observations suggest that readings trajectory or game (aerial duel or defensive action) are generally more successful when players do not have active PR. Furthermore, defensive skills appear to be the most adversely affected when players have active PR. This is supported by the findings of González et al. (2008), who demonstrated that residual PR could interfere with the development of precise ocular movements such as saccades. These PRs, when present, can lead to difficulties in reading trajectories, as they disrupt the coordination necessary for smooth and accurate eye movements. Additionally, involuntary movements caused by active PR can negatively impact

the perception-action loop. Indeed, disrupted perception-action coupling due to involuntary movements significantly increases the risk of errors and injuries (Eagle et al., 2020). This disruption further explains why players with active PR struggle more with defensive skills, as their ability to perceive and react accurately to dynamic situations is compromised.

PR activity and success rate

The ATNR was particularly detrimental for the active PR group, with a decreased success rate in six of the seven assessed skills. The only skill not affected by ATNR activity was passes made in the AZ. This finding aligns with the findings of E. Gieysztor et al. (2020) which highlighted the negative influence of active PR on motor coordination and performance, including ATNR. In over-ground duels, players with active ATNR showed a lower success rate, up to 34.2% (Table 4), which is significant given the critical nature of these engagements in maintaining possession and transitioning play. This reduction in effectiveness can be attributed to the involuntary head movements induced by the ATNR (E. Gieysztor et al., 2020), which disrupts balance and coordination. Similarly, the success rate in aerial duels dropped by 26.0% for players with higher PR activity, which can be linked to impaired timing and spatial awareness due to persistent PR (Goddard et al., 2009). The lower success rate of passes made in the IZ and/or FZ zones, as well as in duels, both aerial and overground, highlights the importance of these PR in dynamic and high-pressure environments typical of football matches. Moreover, the difficulty in crossing the midline axis during motor execution (e.g., passing the ball or evading an opponent) can hinder environmental reading during the match, thereby affecting ball trajectory perception and opponent movements (Richards et al., 2022).

The connection between PR and skills is further illustrated by the negative impact of STNR on the players' ability to gather and process information. Players with active STNR showed significantly lower success rates in aerial duels, highlighting the

detrimental effect of this PRs on trajectory reading. Indeed, the STNR affects the coordination between eye and hand movements (Goddard, 1995), which is crucial for accurate passing and spatial orientation on the field. Indeed, significant associations between remaining PR such as STNR and saccadic eye movements have been found (González et al., 2008). Additionally, in aerial duels, the required leg impulse causes an extension of the legs. With this PR, when there is an impulse from the legs, the upper body and head curl up, resulting in a body form that is not optimal for performing well in aerial contests.

The MR is the second (with the STNR) PR that shows a lower success rate when active in players. All defensive skills (defensive actions and both duels) exhibit a lower average success rate when the MR is active. The success rate in the FZ similarly decreases, indicating that this PR is one of the factors contributing to reduced success rates for the active PR group. This observation aligns with other research that highlights the effects of this PR when active, such as hypervigilance and stress (Goddard, 1995; Rousseau et al., 2017). Additionally, from a motor perspective, it results in loss of balance and poor coordination (Edwards & Khalili, 2023; Niklasson & Niklasson, 2022; Rousseau et al., 2017).

The TLR (in both positions) appears to be one of the PR with the least impact on players' success rates when active. Only two skills, defensive actions and aerial duels, showed a lower success rate when the TLR is active. However, the TLR is not consistently the least impactful in various studies; its effect depends on the context and the persistence of other active PRs (Pecuch et al., 2021). One hypothesis for the relatively low impact of TLR could be that, while this PR is often present in this population (34.7% for TLR FLX and 52.2% for TLR EXT with scores of 1 or 2), it is not frequently exhibited at its most active level (4.3% for TLR FLX and 2.9% for TLR EXT with scores of 3 or 4 during testing) (Bastiere et al., 2024). Therefore, the level of activity of this PR might be a determining factor in its negative impact on skill execution.

Table 4. The success rate of technical skills (TeS) for each primitive reflex (PR) and both active and inactive PR groups.

TeS	Primitive reflex	Inactive PR group Mean $\pm$ SD	Active PR group Mean $\pm$ SD	Mean Difference	Cohen's d
Overground duel (%)	MR	57.9 $\pm$ 23.7	33.4 $\pm$ 19.6	-24.5	-1.13
	ATNR L	58.8 $\pm$ 27.9	45.1 $\pm$ 21.6	-13.7	-0.55
	ATNR R	74.9 $\pm$ 15.0	40.7 $\pm$ 21.4	-34.2	-1.85
	STNREXT	57.4 $\pm$ 25.8	40.7 $\pm$ 20.8	-16.7	-0.71
	STNRFLX	54.2 $\pm$ 36.5	45.0 $\pm$ 22.1	-9.2	-0.30
	TLREXT	54.6 $\pm$ 24.7	49.7 $\pm$ 25.2	-4.9	-0.20
	TLRFLX	60.7 $\pm$ 23.5	46.6 $\pm$ 24.9	-14.1	-0.58
Aerial duel (%)	MR	71.0 $\pm$ 28.4	51.5 $\pm$ 33.2	-19.5	-0.63
	ATNR L	73.1 $\pm$ 28.7	59.8 $\pm$ 31.7	-13.3	-0.44
	ATNR R	83.7 $\pm$ 14.4	57.7 $\pm$ 32.8	-26	-1.03
	STNREXT	78.9 $\pm$ 24.1	44.5 $\pm$ 28.9	-34.4	-1.29
	STNRFLX	72.6 $\pm$ 27.5	53.4 $\pm$ 33.2	-19.2	-0.63
	TLREXT	74.6 $\pm$ 16.0	64.2 $\pm$ 32.1	-10.4	-0.41
	TLRFLX	80.4 $\pm$ 19.9	59.0 $\pm$ 32.7	-21.4	-0.79
Committed fouls (%)	MR	0.3 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.7	0.6	1.11
	ATNR L	0.5 $\pm$ 0.6	0.5 $\pm$ 0.5	0	0.00
	ATNR R	0.2 $\pm$ 0.3	0.6 $\pm$ 0.6	0.4	0.84
	STNREXT	0.4 $\pm$ 0.5	0.6 $\pm$ 0.7	0.2	0.33
	STNRFLX	0.4 $\pm$ 0.5	0.6 $\pm$ 0.6	0.2	0.36
	TLREXT	0.4 $\pm$ 0.6	0.5 $\pm$ 0.6	0.1	0.17
	TLRFLX	0.5 $\pm$ 0.5	0.5 $\pm$ 0.6	0	0.00

ATNR = asymmetrical tonic neck reflex; STNR = symmetrical tonic neck reflex; TLR = tonic labyrinthine reflex; L= left; R= right; EXT= extension; FLX= flexion; TeS = Technical Skill. * Significant difference between inactive PR and active PR groups ($p \leq 0.05$) are reported in bold.

This study being one of the first in this field, its results need to be confirmed and validated in other populations. Our data indicate that active PRs correlate with reduced performance in specific football skills under spatial-temporal constraints. Future research should further investigate these findings by examining neurocognitive processing in players with active PRs during high-pressure scenarios. Moreover, this study has several limitations that should be acknowledged. Firstly, the sample size of 58 players may be too small to generalize the findings to the broader population of high-level football players. Secondly, the evaluation over a single football season limits understanding of the long-term impact of active PRs on performance. Longitudinal studies spanning multiple seasons would be beneficial. While matches were conducted at home, this approach was deliberately chosen to reduce variability due to differing playing conditions, such as unfamiliar fields or travel fatigue. Although it may reduce variability and isolate the variable of interest, it could also be considered a limitation as it does not reflect the players' performance under away game conditions, where environmental and psychological factors might differ. The impact of active PRs might vary under different conditions and levels of competition. It would be interesting to investigate in an interventional study whether a reduction in PR activity through integration exercises alters the success rates of TaS and TeS. The assessment of PRs used a subjective scale, which could introduce measurement biases. More objective and standardized measures could enhance precision, but currently, none exist.

Practical implications

The practical implications of these findings suggest that coaches and physical trainers should integrate neurodevelopmental rehabilitation programs into their training routines, particularly focusing on exercises designed to mitigate the impact of active PRs in young athletes. Utilizing programs such as those proposed by the INPP could be particularly effective. For example, exercises that mimic stages of motor development such as balancing, rolling, crawling, and quadrupedal movements can support the integration of PRs like the ATNR, the TLR, and the STNR. These activities might help in re-establishing fundamental movement patterns, improving coordination, and reducing the residual influence of active PRs (Blythe, 2005; Grigg et al., 2023). These exercises can be implemented as part of warm-ups or specific neurodevelopmental training sessions to support fundamental movement patterns and enhance coordination. Additionally, it is essential to implement continuous monitoring of PRs to identify athletes at risk, allowing for the timely adaptation of training and rehabilitation programs. Educating staff on the significance of PRs and their potential influence on player performance is crucial for enhancing recognition and management of these factors. Adopting a holistic training approach that encompasses not only technical and tactical skills, but also neuro-motor development can help reduce the adverse effects of active PRs and promote overall athletic performance.

Conclusion

This study demonstrates that having active PRs significantly impair both TeS and TaS in players, particularly in high-stress scenarios. The ATNR and MR were found to be particularly important, reducing success rates of TaS and TeS such as passes in the IZ and FZ and in both overground and aerial duels. These findings highlight the importance of addressing PR integration in athletic training to enhance overall performance and reduce the likelihood of errors in critical match moments.

List of abbreviations

PR	Primitive reflex
ATNR	Asymmetrical tonic neck reflex
STNR	Symmetrical tonic neck reflex
TLR	Tonic labyrinthine reflex
L	Left
R	Right
EXT	Extension
FLX	flexion
GS	Global score
TaS	Tactical Skill
TeS	Technical Skill

Acknowledgments

We especially thank the three video analysts who participated in this study, whose contributions were invaluable to the quality of the research work.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

The author(s) reported there is no funding associated with the work featured in this article.

ORCID

Julie Bastiere  <http://orcid.org/0000-0002-9707-4537>

Ethics approval

The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki.

Data availability statement

The data supporting reported results can be obtained directly from the correspondent author who deals with data storage.

Consent statement

Informed consent was obtained from all subjects and from the parents for children under 16 involved in the study.

Ethics statement

South Mediterranean 4 Ethics Committee ID-RCB: 2019-A03012-55.

References

- Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 11(5), 587–593. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0331>
- Ali, A. (2011). Measuring soccer skill performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(2), 170–183. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01256.x>
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match play in the elite soccer player. *Journal of Sport Science*, 24(7), 665–674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Bastiere, J., Lussiana, T., Young, D., Gindre, C., & Mouro, L. (2024). Persistence and activity levels of primitive reflexes in young high-level football players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 6. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1409257>
- Blythe, S. G. (2005). Releasing educational potential through movement: A summary of individual studies carried out using the INPP test battery and developmental exercise programme for use in schools with children with special needs. *Child Care in Practice*, 11(4), 415–432. <https://doi.org/10.1080/13575270500340234>
- Bogdanoviča, I., & Lārinš, V. (2020). Case study of primitive reflexes impact on swimming skill acquisition by healthy children. *Undefined*, 6, 89. <https://doi.org/10.17770/SIE2020VOL6.5180>
- Bozkurt, S., & Kucuk, V. (2018). Comparing of technical skills of young football players according to preferred foot. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 6(1), 19–22. <https://doi.org/10.13189/saj.2018.060103>
- Caetano, F. G., Silva, V. P. D., Torres, R. D. S., Anido, R. D. O., Cunha, S. A., & Moura, F. A. (2019). Analysis of match dynamics of different soccer competition levels based on the Player dyads. *Journal of Human Kinetics*, 70(1), 173–182. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0030>
- Caicedo-Parada, S., Lago-Peñas, C., & Ortega-Toro, E. (2020). Passing networks and tactical action in football: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186649>
- Capute, A. J., Shapiro, B. K., Accardo, P. J., Wachtel, R. C., Ross, A., & Palmer, F. B. (1982). Motor functions: Associated primitive reflex profiles. *Develop Med Child Neurol*, 24(6), 662–669. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1982.tb13677.x>
- Clemente, F. M., Martins, F. M. L., Couceiro, M. S., Mendes, R. S., & Figueiredo, A. J. (2016). Developing a tactical metric to estimate the defensive area of soccer teams: The defensive play area. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering & Technology*, 230(2), 124–132. <https://doi.org/10.1177/1754337115583198>
- Damasceno, A., Delicio, A. M., Mazo, D. F. C., Zullo, J. F. D., Scherer, P., Ng, R. T. Y., & Damasceno, B. P. (2005). Primitive reflexes and cognitive function. *Arquivos de Neuro-psiquiatria*, 63(3 A), 577–582. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x2005000400004>
- Duarte, R., Araújo, D., Freire, L., Folgado, H., Fernandes, O., & Davids, K. (2012). Intra- and inter-group coordination patterns reveal collective behaviors of football players near the scoring zone. *Human Movement Science*, 31(6), 1639–1651. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.03.001>
- Eagle, S. R., Kontos, A. P., Pepping, G. J., Johnson, C. D., Sinnott, A., LaGoy, A., & Connaboy, C. (2020). Increased risk of musculoskeletal injury following sport-related concussion: A perception–action coupling approach. *Sports Medicine*, 50(1), 15–23. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01144-3>
- Edwards, C. W., & Khalili, Y. A. (2023). Moro Reflex. *Encyclopedia of the Neurological Sciences*, 99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385157-4.01046-0>
- Gieysztor, E., Pecuch, A., Kowal, M., Borowicz, W., & Paprocka-Borowicz, M. (2020). Pelvic symmetry is influenced by asymmetrical tonic neck reflex during young children's gait. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134759>
- Gieysztor, E. Z., Choińska, A. M., & Paprocka-Borowicz, M. (2017). Persistence of primitive reflexes and associated motor problems in healthy preschool children. *Archives of Medical Science*, 14(1), 167–173. <https://doi.org/10.5114/AOMS.2016.60503>
- Goddard, S. (1995). The role of primitive survival reflexes in the development of the visual system. *Journal of Behavioral Optometry*, 6(2), 31–35.
- Goddard, S., Beuret, L. J., & Blythe, P. (2009). Attention, balance, and coordination: The A.B.C. of learning success (1st ed.). Wiley-Blackwell.
- Goddard-Blythe, S. (2005). *The well balanced child: Movement and early learning* (2nd ed.). Hawthorn press.
- Goddard Blythe, S. (2015). *Neuromotor immaturity in children and adults. The INPP screening test for clinicians and health practitioners*. Wiley-blackwell.
- González, S. R., Ciuffreda, K. J., Hernández, L. C., & Escalante, J. B. (2008). The correlation between primitive reflexes and saccadic eye movements in 5th grade children with teacher-reported reading problems. *Optometry & Vision Development*, 39(3), 140–145.
- Gréhaigne, J. F., & Godbout, P. (1995). Tactical knowledge in team sports from a constructivist and cognitivist perspective. *Quest*, 47(4), 490–505. <https://doi.org/10.1080/00336297.1995.10484171>
- Grigg, T. M., Culpán, I., & Fox-Turnbull, W. (2023). Primitive reflex integration and reading achievement in the classroom. *Journal of Neurology and Experimental Neuroscience*, 09(1). <https://doi.org/10.17756/jnen.2023-103>
- laia, F. M., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football Brief Review. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 4(3), 291–306. <https://doi.org/10.1123/ijspp.4.3.291>
- Illingworth, R. S. (1987). *The development of the infant and young child: Normal and abnormal* (9th ed.). Churchill Livingstone.
- Kraynik, Y., Mulik, V., & Lebediev, S. (2019). Performance indicators of the technical and tactical actions of young football players of 13–14 years of various game roles. *Science & Sport*, 7(5), 48–52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3596563>
- Low, B., Coutinho, D., Gonçalves, B., Rein, R., Memmert, D., & Sampaio, J. (2020). A systematic review of collective tactical behaviours in football using positional data. In *Sports medicine* (Vol. 50, Issue 2, pp. 343–385). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01194-7>
- McPhillips, M., & Sheehy, N. (2004). Prevalence of persistent primary reflexes and motor problems in children with reading difficulties. *Dyslexia (Chichester, England)*, 10(4), 316–338. <https://doi.org/10.1002/DYS.282>
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sport Sciences*, 21(7), 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
- Niklasson, M., & Niklasson, I. (2022). The importance of an early suppression of the moro reflex. *Physical Medicine and Rehabilitation - International*, 9(2), 1200. <https://doi.org/10.1155/2012/191562>
- Orosz, R., & Mezo, F. (2015). Psychological factors in the development of football-talent from the perspective of an integrative sport-talent model. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 3(1), 58–76. <https://doi.org/10.17478/JEGYS.2015112018>
- Pecuch, A., Gieysztor, E., Wolańska, E., Telenga, M., & Paprocka-Borowicz, M. (2021). Primitive reflex activity in relation to motor skills in healthy preschool children. *Brain Sciences*, 11(8), 967. <https://doi.org/10.3390/BRAINSCI11080967>
- Portillo, J., Abián, P., Calvo, B., Paredes, V., & Abián-Vicén, J. (2020). Effects of muscular injuries on the technical and physical performance of professional soccer players. *The Physician and Sportsmedicine*, 48(4), 437–441. <https://doi.org/10.1080/00913847.2020.1744485>
- Ric, A., Torrents, C., Gonçalves, B., Torres-Ronda, L., Sampaio, J., & Hristovski, R. (2017). Dynamics of tactical behaviour in association football when manipulating players' space of interaction. *PLoS One*, 12(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180773>
- Richards, L., Avery, R., Gray, S., Price, R., & Author, P. (2022). Relationship of retained primitive reflexes and handwriting difficulty in elementary-age children. *The American Journal of Occupational Therapy*, 76 (Supplement_1), p76105050101–p76105050101. <https://doi.org/10.5014/AJOT.2022.76S1-RP10>

- Rousseau, P. V., Matton, F., Lecuyer, R., & Lahaye, W. (2017). The Moro reaction: More than a reflex, a ritualized behavior of nonverbal communication. *Infant Behavior and Development*, 46, 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2017.01.004>
- Sabarit, A., Reigal, R. E., Morillo-Baro, J. P., de Mier, R., Franquelo, A., Hernández-Mendo, A., Falcó, C., & Morales-Sánchez, V. (2020). Cognitive functioning, physical fitness, and game performance in a sample of adolescent soccer players. *Sustainability* 12(13), 5245. <https://doi.org/10.3390/su12135245>
- Stéphane Héros. (2022). Les fondements cognitifs et sensibles de l'activité des footballeurs professionnels. Étude de la diversité interindividuelle lors des phases de jeu en lien avec les transitions défensives hautes. *Éducation, Université Clermont Auvergne*. Document en français. NNT : 2022UCFAL014.
- Taylor, B., Hanna, D., & McPhillips, M. (2020). Motor problems in children with severe emotional and behavioural difficulties. *The British Journal of Educational Psychology*, 90(3), 719–735. <https://doi.org/10.1111/bjep.12327>
- Teodorescu, S., & Gheorghe, D. (2014). Methods for increasing the game action performance in football by valorizing the cognitive processes. *Procedia - Social & Behavioral Sciences*, 117, 361–366. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2014.02.228>
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 657–667. <https://doi.org/10.1080/02640410050120041>

Annexe A

ATNR = asymmetrical tonic neck reflex; STNR = symmetrical tonic neck reflex; TLR = tonic labyrinthine reflex; L = left; R = right; EXT = extension; FLX = flexion. No significant differences ($p > 0.05$) are reported.

Table A. Distribution of general characteristics of participants by primitive reflex (PR) and position.

Position groups	Variable	Group	MR	ATNRL	ATNR R	STNREXT	STNRFLX	TLREXT	TLRFLX
All	N	Inactive PR	42	24	17	35	36	6	17
		Active PR	17	35	42	24	6	53	42
	Age (year)	Inactive PR	17.5 ± 1.4	18.0 ± 1.5	17.7 ± 1.5	17.7 ± 1.6	17.7 ± 1.4	18.7 ± 2.4	17.6 ± 1.7
		Active PR	18.0 ± 1.5	17.3 ± 1.3	17.6 ± 1.4	17.5 ± 1.2	17.6 ± 5.1	17.5 ± 1.3	17.6 ± 1.3
	Height (cm)	Inactive PR	178.5 ± 6.5	179.9 ± 6.6	178.8 ± 6.9	178.3 ± 7.1	178.5 ± 6.9	177.2 ± 3.3	178.5 ± 5.6
		Active PR	177.6 ± 5.8	176.8 ± 5.7	177.8 ± 6.0	177.8 ± 4.8	177.4 ± 5.1	178.2 ± 6.5	177.9 ± 6.5
	Mass (kg)	Inactive PR	69.2 ± 7.0	70.8 ± 7.5	70.2 ± 7.3	68.7 ± 7.2	69.7 ± 6.9	71.7 ± 3.7	69.7 ± 6.6
		Active PR	69.2 ± 5.9	68.1 ± 5.9	68.8 ± 6.4	69.9 ± 5.7	68.5 ± 6.3	68.9 ± 6.8	69.0 ± 6.7
	N	Inactive PR	31	18	13	28	28	4	16
		Active PR	11	24	29	14	14	38	26
Defensive and offensive midfielders, and full and centre back	Age (year)	Inactive PR	17.6 ± 1.3	18.1 ± 1.5	17.5 ± 1.3	17.7 ± 1.5	17.5 ± 1.4	18.5 ± 3.0	17.8 ± 1.7
		Active PR	18.1 ± 1.8	17.4 ± 1.3	17.8 ± 1.5	17.8 ± 1.3	18.1 ± 1.6	17.6 ± 1.2	17.7 ± 1.3
	Height (cm)	Inactive PR	178.1 ± 6.6	179.6 ± 6.4	178.5 ± 6.4	178.5 ± 7.0	178.5 ± 6.7	177.8 ± 3.3	178.8 ± 6.8
		Active PR	179.0 ± 6.3	177.5 ± 6.5	178.3 ± 6.7	178.0 ± 5.5	178.0 ± 6.2	178.4 ± 6.8	178.1 ± 7.1
	Mass (kg)	Inactive PR	69.1 ± 6.6	69.6 ± 7.3	68.7 ± 6.2	69.8 ± 6.7	69.1 ± 6.6	71.4 ± 0.8	69.8 ± 6.8
		Active PR	69.7 ± 6.7	69.1 ± 6.0	69.5 ± 6.8	65.8 ± 3.4	69.6 ± 6.6	69.1 ± 6.8	69.0 ± 6.4
	N	Inactive PR	33	18	12	27	28	5	12
		Active PR	16	31	37	22	21	44	37
	Age (year)	Inactive PR	17.5 ± 1.5	18.2 ± 1.7	17.9 ± 1.6	17.8 ± 1.7	17.8 ± 1.4	19.2 ± 2.3	17.9 ± 2.0
		Active PR	17.9 ± 1.6	17.4 ± 1.4	17.6 ± 1.5	17.5 ± 1.2	17.6 ± 1.6	17.5 ± 1.3	17.6 ± 1.3
Defensive and offensive midfielders, full back, winger, and forward	Height (cm)	Inactive PR	176.6 ± 6.2	177.8 ± 6.2	176.8 ± 7.1	176.5 ± 7.0	176.7 ± 6.7	176.4 ± 3.0	175.6 ± 3.3
		Active PR	176.9 ± 5.1	176.0 ± 5.5	176.6 ± 5.4	176.9 ± 4.0	176.6 ± 4.6	176.7 ± 6.0	177.0 ± 6.4
	Mass (kg)	Inactive PR	67.5 ± 6.5	69.1 ± 7.2	69.0 ± 8.0	67.0 ± 7.0	68.2 ± 6.6	71.6 ± 4.1	66.5 ± 4.3
		Active PR	68.6 ± 5.4	67.2 ± 5.5	67.5 ± 5.5	69.0 ± 4.8	67.5 ± 5.6	67.5 ± 6.3	68.3 ± 6.6