



HAL
open science

Analyse des variables physiques, métaboliques et contextuelles de la performance sportive : Le cas du Rugby à 7, nouvelle discipline olympique

Anthony Couderc

► **To cite this version:**

Anthony Couderc. Analyse des variables physiques, métaboliques et contextuelles de la performance sportive : Le cas du Rugby à 7, nouvelle discipline olympique. Psychologie. Université Paris Saclay (COmUE), 2016. Français. NNT : 2016SACLS469 . tel-01435002

HAL Id: tel-01435002

<https://theses.hal.science/tel-01435002>

Submitted on 13 Jan 2017

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

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

NNT : 2016SACLS469

THESE DE DOCTORAT
DE
L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY
PREPAREE A
L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD

ECOLE DOCTORALE N°566
Sciences du Sport, de la Motricité et du Mouvement Humain

Sciences du Sport et du Mouvement Humain

Par

M. Anthony COUDERC

Analyse des variables physiques, métaboliques et contextuelles
de la performance sportive :
Le cas du Rugby à 7, nouvelle discipline olympique

Thèse présentée et soutenue au Centre National de Rugby à Marcoussis, le 25.11.2016

Composition du Jury :

M. Guével, Arnaud	Professeur des Universités, Université de Nantes	Président
M. Morin, Jean-Benoît	Professeur des Universités, Université de Nice-Sophia Antipolis	Rapporteur
M. Perrey, Stéphane	Professeur des Universités, Université de Montpellier	Rapporteur
M. Uhlich, Gilles	Maître de Conférences, Université de Paris Sud	Examineur
Mme. Hanon, Christine	Chercheur, HDR, INSEP	Directrice de thèse
Mme. Thomas, Claire	Chercheur, HDR, INSEP	Co-directrice de thèse
M. Piscione, Julien	Docteur, Fédération Française de Rugby	Invité

Résumé de la thèse

Titre : Analyse des variables physiques, métaboliques et contextuelles de la performance sportive :
Le cas du Rugby à 7, nouvelle discipline olympique

Mots clés : GPS, lactate, statut acido-basique, répétitions d'efforts

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre de travaux menés en sciences du sport. Basé sur l'exploration des caractéristiques physiques et physiologiques, les performances techniques et physiques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7, ont été étudiées au travers de l'analyse de tournois internationaux.

Dans une première étude, nous avons observé l'impact de variables contextuelles sur les performances physiques et techniques des joueurs en match. Les résultats démontrent que le niveau de l'adversaire ainsi que le résultat du match influencent l'activité des joueurs. Ces derniers sont susceptibles de réaliser de meilleures performances physiques au cours de match dont l'issue est favorable. En effet, les joueurs augmentent la distance totale parcourue dans un match contre un adversaire plus faible. Pour la première fois en Rugby à 7, nous avons montré que les performances techniques sont elles aussi influencées lorsque les joueurs de l'équipe de France jouaient contre une équipe plus forte. En effet, nous avons observé des diminutions du nombre de passes et de situations où les joueurs sont porteurs de balle.

Au travers d'une approche physiologique, une deuxième étude a appréhendé les réponses métaboliques individuelles des joueurs de l'équipe de France durant un tournoi international. Les résultats ont montré des relations significatives entre les concentrations de lactate et les pics d'activité enregistrés dans les trois dernières minutes de jeu, ce qui suggère que la capacité à fournir de l'énergie via la voie de la glycolyse est une exigence fondamentale dans cette discipline. L'équilibre acido-basique modifié de façon significative en fin de match, indique que les joueurs doivent être capables de tolérer un niveau important d'acidose due à une forte sollicitation énergétique lors des matchs internationaux.

Enfin, notre dernière étude s'est centrée sur les actions de haute intensité effectuées en match. Ces derniers résultats de recherche ont permis de démontrer qu'un joueur réalise en moyenne ~26 actions de haute intensité par match. De plus et pour la première fois dans cette discipline, nous avons montré qu'environ 4 séquences de répétitions d'actions de haute intensité sont comptabilisées en match, dont la durée moyenne est d'environ 40 secondes et comprennent des temps de récupérations inférieurs à 9 secondes. Ainsi, le Rugby à 7 peut être considéré comme un sport collectif de répétitions d'efforts intenses.

Pour conclure alors, ces travaux de thèse vont permettre aux entraîneurs et préparateurs physiques de Rugby à 7, de pouvoir s'inspirer de nos résultats pour planifier et mettre en œuvre des entraînements spécifiques aux exigences du Rugby à 7.



Thesis abstract

Title: Analysis of the physical, metabolic and contextual variables of the sports performance: the case of the Rugby Sevens, new Olympic sport

Keywords: GPS, lactate, acid-base balance, repeated high intensity efforts

Our thesis research fits within the framework of sport science. Based on the exploration of physical and physiological characteristics, technical and physical performance achieved by the French Rugby 7's team, were studied through the analysis of international tournaments.

In the first study, we observe the impact of contextual variables on the physical and technical performance of players during a Rugby 7's game. The results demonstrate that the level of the opponent and the match result influence the activity of players. Players are likely to perform better physically during a game for which the outcome is favorable. They increase the total distance run in a game against a weaker opponent. For the first time in Rugby 7's, we were able to show that technical performance is also affected whilst playing against a stronger opponent as there is a decrease in the number of passes and the number of situations where players are ball carriers.

Through a physiological approach, the second study focuses on the individual metabolic responses of players during an international Rugby 7's tournament. The results show a significant relationship between lactate concentrations and peaks activity recorded in the last three minutes of play, suggesting the ability to provide energy via the glycolytic pathway as a fundamental requirement in this sport. Also, the acid-base balance significantly changes towards the end of a game showing that Rugby 7's players must be able to tolerate a high level of acidosis because the high amount of energy needed for games at an international level.

Finally, our last study focuses on high intensity actions done during a Rugby 7's game. The results show that a player does on average ~26 high intensity actions per game. In addition and for the first time in this sport, we show that approximately 4 sequences of repeated high intensity actions are recorded in a game, the average duration is 40 seconds and includes a time of recovery of under 9 seconds. Thus, Rugby 7's may be considered as a team sport of repeated high intensity actions.

To conclude, this thesis will allow Rugby 7's coaches and fitness coaches, to better plan and prepare specific trainings that would be adapted to Rugby 7's.



Remerciements

A l'issue de la rédaction de ces travaux de recherche, je suis maintenant convaincu qu'une thèse est loin d'être un travail solitaire. En effet, je n'aurais jamais pu réaliser ce doctorat sans le soutien d'un grand nombre de personnes qui m'ont permis de mener à bien l'ensemble de ces recherches. Je vais donc faire en sorte de n'oublier personne...

En premier lieu, je tiens à remercier mes directrices de thèse, **Claire Thomas-Junius** et **Christine Hanon**, pour la confiance qu'elles m'ont accordée pendant ces quatre années. Toujours de bons conseils, elles ont su m'orienter et me guider. De la même façon, c'est aussi à **Julien Piscione**, directeur de la performance de la Fédération Française de Rugby, à qui j'ai envie de dire un grand merci. Ton exemplarité au quotidien m'a inspiré, et sans toi, ces travaux ne ressembleraient pas à ce qu'ils sont aujourd'hui... alors merci !

Je souhaite aussi exprimer ma gratitude envers un collègue de travail, un confident, un ami. **Mathieu Lacome**, sans ton aide par ta présence, tes mails, tes messages, tes appels... deux ou trois années de plus ne m'auraient pas suffi pour clôturer ces travaux, donc merci à toi aussi.

Je tiens également à remercier mon jury de thèse : Messieurs **Arnaud Guével**, **Stéphane Perrey**, **Jean-Benoît Morin** et **Gilles Uhlrich**, qui ont répondu présent pour évaluer ce travail. Merci à vous pour l'intérêt porté à mes recherches.

J'exprime ma gratitude envers la Fédération Française de Rugby (à **Pierre Camou** et **Didier Retière**, aux entraîneurs et joueurs de l'**équipe de France de Rugby à 7**, comme à tous les salariés que j'ai côtoyé) ainsi qu'aux membres du laboratoire de l'**INSEP**, qui m'ont accompagné et soutenu. Un merci particulier à **David Courteix** et les joueuses de l'**équipe de France de Rugby à 7**, qui parfois ont subi la proximité entre mes recherches et le terrain.

Ces remerciements seraient incomplets si je n'en adressais pas à mes compagnons de galère (**Laurie-Anne** et **Rémi**), à mes collègues préparateurs physiques (**Alex(s)**, **Bertrand** et **Julien(s)**) et à mes collègues de travail (**Danielle**, **Germain**, **Florent** et **Lionel**). Leur soutien, chacun à leur façon, était sans faille.

Enfin, mille mercis à **ma famille** et **mes amis** qui, avec cette question récurrente, « quand est-ce que tu soutiens cette thèse ? », bien qu'angoissante en période (fréquente) de doutes, m'ont permis de ne jamais lâcher.

A mon papa...

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS	10
LISTE DES TABLEAUX	11
LISTE DES FIGURES.....	13
LISTE DES IMAGES	14
VALORISATION DU TRAVAIL DE THESE	15
LE RUGBY A 7 PAR DAVID COURTEIX	17
I. AVANT-PROPOS	18
1. Historique	19
2. Règlement et organisation du Rugby à 7	20
3. Engouement pour le Rugby à 7	20
4. Collaborations pour cette thèse	21
5. Enjeux et plan de cette thèse	22
6. Aboutissants de cette thèse.....	23

II. REVUE DE LITTÉRATURE.....24

Chapitre 1. Méthode d'analyse de la performance en sport collectif.....25

1. Les différents outils d'analyse de la performance..... 25
2. La validité et la reproductibilité des données GPS 27
3. Les méthodes d'analyses des données GPS 29
4. L'analyse notationnelle 33
 - a. Les phases statiques 34
 - b. Les actions de jeu (offensives et défensives)..... 35

Méthode d'analyse de la performance en sport collectif : l'essentiel36

Chapitre 2. Le Rugby à 7 et ses spécificités37

1. Les exigences techniques en Rugby à 7 37
2. L'impact des variables contextuelles en Rugby à 7 40
3. L'impact du poste des joueurs (avant/arrière)..... 42
 - a. Les avants 42
 - b. Les arrières..... 42
4. Le statut des joueurs 45

Le Rugby à 7 et ses spécificités : l'essentiel46

Chapitre 3. Les contraintes physiques et physiologiques en Rugby à 7.....47

1. Les caractéristiques physiques des joueurs de Rugby à 7 47
 - a. Morphologie des joueurs 47
 - b. Qualité aérobie des joueurs 48
 - c. Qualité de puissance des joueurs 49
 - d. Qualité de vitesse des joueurs 50
2. Les exigences physiques en match de Rugby à 7..... 52
 - a. Analyse des performances physiques en match..... 52
 - b. Observation des répétitions d'actions de haute intensité en match..... 53
3. Les conséquences sur le plan énergétique 57
 - a. La première source d'énergie : la phosphocréatine 57
 - b. Le métabolisme du lactate 60

Les contraintes physiques et physiologiques en Rugby à 7 : l'essentiel64

III. OBJECTIFS DE THESE65

IV. METHODOLOGIE.....69

1. La population.....	70
2. Les évaluations physiques.....	70
a. Anthropométrie.....	70
b. Détermination de la vitesse maximale aérobie (VMA).....	70
c. Détermination de la consommation maximale d'oxygène (VO _{2max})....	70
d. Détermination de la vitesse maximale (V _{max}).....	71
e. Détermination du statut acido-basique sanguin.....	72
f. Détermination des capacités de force musculaires des membres inférieurs et supérieurs.....	72
g. Détermination de la puissance des membres inférieurs.....	73
3. Les matchs.....	73
4. L'analyse des performances physiques.....	74
a. Le système GPS.....	74
b. Individualisation des catégories de course.....	75
c. Analyse vidéo.....	75
d. Analyse des efforts de haute intensité.....	75
5. Les prélèvements sanguins en match.....	76
6. Les analyses statistiques.....	77

V. CONTRIBUTION PERSONNELLE80

Chapitre 1. Préambule - Description des caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7.....	81
---	-----------

Chapitre 2. ETUDE 1 : Impact des variables contextuelles sur la performance en Rugby à 7 91

1. Objectif de l'étude 1	92
2. Le point de vue d'un joueur professionnel.....	92
3. Méthodologie	93
a. Population	93
b. Procédures expérimentales.....	93
c. Synthèse des tests utilisés	93
4. Les résultats principaux.....	94
a. Relation entre le résultat du match et les performances physiques et techniques	94
b. Influence du niveau de l'adversaire sur les performances physiques et techniques	96
c. Analyse par Cluster.....	98
5. Discussion et Conclusion	99
L'impact des variables contextuelles en Rugby à 7 : l'essentiel	102

Chapitre 3. ETUDE 2 : Analyse des réponses physiologiques en Rugby à 7..... 103

1. Objectif de l'étude 2	104
2. Le point de vue d'un joueur professionnel.....	104
3. Méthodologie	105
a. Population	105
b. Procédures expérimentales.....	105
c. Synthèse des tests utilisés	105
4. Les résultats principaux.....	106
a. Description des performances physiques.....	106
b. Description des réponses physiologiques	108
c. Relation entre les performances physiques et les réponses physiologiques	110
5. Discussion et Conclusion	112
Les réponses physiologiques en Rugby à 7 : l'essentiel	117

Chapitre 4. ETUDE 3 : Analyse des répétitions d’actions de haute intensité en match international de Rugby à 7	118
1. Objectif de l’étude 3	119
2. Le point de vue d’un joueur professionnel	120
3. Méthodologie	120
a. Population	120
b. Procédures expérimentales.....	120
c. Synthèse des tests utilisés	122
4. Les résultats principaux.....	122
5. Discussion et Conclusion	136
La performance en Rugby à 7 : l’essentiel	141
VI. DISCUSSION GENERALE	142
1. Seuils de vitesse de course et entraînement	143
2. Séquences de répétitions d’actions de haute intensité et entraînement ..	148
3. Entraînement et variables contextuelles : une notion incontournable ? .	151
4. Efforts intenses, réponses métaboliques et récupération.....	152
VII. PERSPECTIVES.....	155
VIII. CONCLUSION	157
IX. BIBLIOGRAPHIE	159
X. ANNEXES	172

Liste des abréviations

[x] : Concentration	MG : Masse Grasse
ADP : Adénosine-diphosphate	MT1 : Première mi-temps
AMP : Adénosine-monophosphate	MT2 : Deuxième mi-temps
ASR : “ <i>Anaerobic Speed Reserve</i> ”	NADH : Nicotinamide-adénine-dinucléotide
ATP : Adénosine-Triphosphate	NaHCO₃ : Bicarbonate de sodium
CK : Créatine kinase	NR : Non Renseigné
CO₂ : Dioxyde de carbone	PaCO₂ : Pression artérielle en CO ₂
DEXA : “ <i>Dual Energy X-ray Absorptiometry</i> ”	PCr : Phosphocréatine
DT : Distance Totale	P_i : Phosphate inorganique
FFR : Fédération Française de Rugby	RAA : habileté à répéter des accélérations
GLUT : Transporteur de glucose	RAS : répétition de séquences d’accélération
GPS : “ <i>Global Positioning Systems</i> ”	RHIE : “ <i>Repeated High Intensity Effort</i> ”
H⁺ : Ion hydrogène	RSE : répétition d’exercices de sprint
HCO₃⁻ : Ion hydrogénocarbonate	RSS : répétition de séquences de sprint
INSEP : Institut National du Sport de l’Expertise et de la Performance	SGLT : “ <i>Sodium/Glucose Co-Transporter</i> ”
IRB : “ <i>International Rugby Board</i> ”	TMA : “ <i>Time Motion Analysis</i> ”
Joueur WM : match complet	V_{max} : Vitesse maximale
Joueur R : remplacé	VMA : Vitesse maximale aérobie
Joueur S : remplaçant	VO₂ : Volume d’oxygène consommé
La : Lactate	VO_{2max} : Volume maximal d’oxygène consommé
	WR : “ <i>World Rugby</i> ”
	WSS : “ <i>World Sevens Series</i> ”

Liste des tableaux

Tableau 1 : Analyse de la performance en compétition internationale de Rugby à 7. Quantification des indicateurs de performance par match et par équipe.	38
Tableau 2 : Comparaison des performances de joueurs de Rugby à 7 en fonction des postes : avant ou arrière.....	44
Tableau 3 : Comparaison des profils de joueurs de Rugby à 7 en fonction des postes	47
Tableau 4 : L'analyse des performances physiques via l'outil GPS, en compétition de Rugby à 7	52
Tableau 5 : Comparaison entre mi-temps, de l'activité de répétition de courses de haute intensité réalisée par un joueur, en match international de Rugby à 7. Extrait de "Repeated-high intensity running activity and internal training load of elite rugby sevens players during international matches a comparison between halves" Suarez-Arrones et coll.2015.....	55
Tableau 6 : Organisation et résultats de l'équipe de France de Rugby à 7 masculine, au tournoi Européen de Lyon 2013.....	74
Tableau 7 : Caractéristiques anthropométriques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014	82
Tableau 8 : Performances physiques aérobies des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014	83
Tableau 9 : Profil force-vitesse des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014, confrontés à ceux des joueurs de rugby à XIII et à XV (données extraites de Cross et coll. 2015).....	84
Tableau 10 : Performances physiques de force et de puissance des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014	87
Tableau 11 : Réponses métaboliques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014, suite à une course en sprint de 300 mètres.	88
Tableau 12 : Relation entre le résultat du match et les performances physiques et techniques	95
Tableau 13 : Influence du niveau de l'adversaire sur les performances physiques et techniques.....	97
Tableau 14 : Performances physiques des joueurs au cours d'un tournoi de Rugby à 7	107
Tableau 15 : Réponses physiologiques des joueurs au cours d'un tournoi de Rugby à 7	109

Tableau 16 : Relation entre les performances physiques réalisées sur les trois dernières minutes de jeu et les variations du pH, [HCO ₃ ⁻] et [La] au cours d'un tournoi de Rugby à 7	111
Tableau 17 : Distribution des actions de haute intensité par joueur et par match, en Rugby à 7. Différences en fonction des postes.....	124
Tableau 18 : Types de séquence de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE), selon les postes, pour les joueurs ayant joué un match complet en Rugby à 7.....	128
Tableau 19 : Comparaison de la distribution des actions de haute intensité par joueur et par mi-temps (MT), en Rugby à 7. Différences en fonction des postes.....	131
Tableau 20 : Comparaison de la distribution des séquences de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE) par joueur et par mi-temps, en Rugby à 7. Différences en fonction des postes.....	134
Tableau 21 : Présentation de seuils absolus issus de différentes études en rugby. Extrait de "A comparison of the physiological demands of rugby union match-play when determined by absolute (ABS) or individual (IND) velocity bands in Global Positioning System (GPS) analysis". Macleod (2016).....	144

Liste des figures

Figure 1 : Evolution de 2000 à 2016, du nombre d'études relatives au Rugby à 7 publiées dans des revues internationales	21
Figure 2 : Déplacement d'un joueur pendant une séquence de jeu de 30 secondes. Découpage de l'allure de course individualisée et vitesses atteintes.	31
Figure 3 : Relation force-vitesse et courbe de puissance de deux sujets (rouge et noir)	49
Figure 4 : Illustration de la navette extracellulaire du lactate (Fibre rapide, Fibre lente).....	61
Figure 5 : Organisation du « World Sevens Series » masculin, de la saison 2015-2016.....	73
Figure 6 : Différences de profils force-vitesse en fonction des types de rugby pratiqués (7, XIII et XV) selon les postes des joueurs (avant et arrière).	86
Figure 7 : Cinétique du pH sanguin, post-300m chez des joueurs de Rugby à 7.....	88
Figure 8 : Cinétique du bicarbonate sanguin, post-300m chez des joueurs de Rugby à 7.....	89
Figure 9 : Cinétique du lactate sanguin, post-300m chez des joueurs de Rugby à 7.....	89
Figure 10 : Dendrogramme représentant la similarité relative des différentes variables en fonction de leur impact sur les performances physiques et techniques des joueurs	98
Figure 11 : Évolution des concentrations de lactate durant un tournoi de Rugby à 7, pour l'ensemble des joueurs	110
Figure 12 : Distribution des actions de haute intensité par match, par joueur, en Rugby à 7	123
Figure 13 : Répartition des séquences de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE) en fonction du nombre d'actions qu'elles contiennent, par poste et par match.	126
Figure 14 : Distribution des actions de haute intensité par match et par joueur, au sein d'une séquence de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE), en Rugby à 7.....	127
Figure 15 : Illustration d'une mi-temps représentative d'un match de Rugby à 7.....	137
Figure 16 : Exemple type de l'analyse GPS d'un match d'un joueur de Rugby à 7, avec seuil absolu et seuil individualisé	146
Figure 17 : Représentation des zones de vitesse anaérobie de réserve, de deux sujets aux vitesses maximales différentes mais avec des VO_{2max} identiques.....	147
Figure 18 : Exemple infographique des stratégies de récupération entre deux matchs de Rugby à 7. Extrait de Couderc dans Schuster et coll. (2016) en préparation.....	154

Liste des images

Image 1 : Schéma d'usage de l'outil d'analyse : GPS Digital Simulation.....	28
Image 2 : Capture d'écran du logiciel Dartfish	33
Image 3 : Illustration de la méthode de prélèvement sanguin	76

Valorisation du travail de thèse

Ce travail de thèse a fait l'objet des publications et communications suivantes

Publications en relecture ou acceptées dans des revues internationales à comité de lecture

- **COUDERC.A**, THOMAS.C, LACOME.M, PISCIONE.J, ROBINEAU.J, DELFOUR-PEYRETHON.R, BORNE.R, HANON.C (2016). Movement Patterns and Metabolic Responses During an International Rugby Sevens Tournament.
International Journal of Sports Physiology and Performance.
Acceptée. <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0313> (**Annexe 1**)
- **COUDERC.A**, PISCIONE.J, ROBINEAU.J, IGARZA.G, THOMAS.C, HANON.C, LACOME.M (2016). Impact of Contextual Variables on Running and Skill-Related Performance in International Rugby Sevens.
PLOS One.
Soumise en Septembre 2016 (**Annexe 2**)

Collaborations pour des publications en relecture ou acceptées dans des revues internationales à comité de lecture

- MARRIER.B, LE MEUR.Y, ROBINEAU.J, LACOME.M, **COUDERC.A**, HAUSSWIRTH.C, PISCIONE.J, MORIN.JB (2016). Quantifying Neuromuscular Fatigue Induced by an Intense Training Session in Rugby Sevens.
International Journal of Sports Physiology and Performance.
Acceptée. <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0030> (**Annexe 3**)
- SCHUSTER.J, HOWELLS.D, ROBINEAU.J, **COUDERC.A**, NATERA.A, LUMLEY.N, GABBETT.T, WINKELMAN.N, McMASTER.T (2016). Physical preparation recommendations for elite rugby sevens performance.
International Journal of Sports Physiology and Performance.
Soumise en Novembre 2016 (**Annexe 4**)

Ouvrages

- **COUDERC.A**, THOMAS.C, PISCIONE.J, HANON.C. Exigences physiques et réponses métaboliques au cours d'un tournoi international de Rugby à 7. Pathologies du rugbyman.
SAURAMPS Médical. Biarritz, France, Octobre 2014.
- VIEU.C, BOUCHE.R, CAMPARGUE.B, **COUDERC.A**, COZZOLINO.C, FREY.A, GRANVORKA.F, MAURELLI.O, PAULY.O, RICARD.M, STEINER.F, GENDRE.P. Développement de l'intelligence de l'épaule.
Edition INSEP, Parution prévue : Décembre 2016.

Congrès nationaux et internationaux

- **COUDERC.A**. Exigences physiques et réponses métaboliques au cours d'un tournoi international de Rugby à 7.
ACAPS. Grenoble, France, Octobre 2013.
- **COUDERC.A**, ROBINEAU.J. Exigences physiques et réponses physiologiques en Rugby à 7.
14^{ème} Congrès National de l'Association des Kinés Rugby, Paris, France, Février 2015
- **COUDERC.A**, THOMAS.C, LACOME.M, PISCIONE.J, ROBINEAU.J, DELFOUR-PEYRETHON.R, BORNE.R, HANON.C. Movement patterns and metabolic responses during an international tournament of Rugby Sevens.
E-Poster, European Congress of Sport Science. Malmö, Suède, Juin 2015.

Conférences

- **COUDERC.A**. Sport et Jeunes Sportifs.
Sport Santé - CROS Languedoc-Roussillon. Gruissan, France, Novembre 2014.
- **COUDERC.A**. Journée Sport Santé Préparation Physique.
Université Paris Est-Créteil & Département du Val de Marne, France, Avril 2016.

Le Rugby à 7 par David COURTEIX

Les oriflammes s'agitent,
l'atmosphère a cette dimension électrique qui donne aux énergies la saveur des grands plats,
le public gronde de plaisir !

Un coup de sifflet strident à peine perceptible dans ce brouhaha agréablement soûlant,
signe le début d'une courte pause !

Il y a un peu plus de 7 minutes que les étreintes brutales et furtives s'enchaînent,
que les accélérations et les changements d'orientation de course se succèdent,
qu'il faut passer du ventre à terre à la station debout puis inversement.
Avec une agilité de chat, un esprit de gladiateur et le sang-froid d'un pilote de ligne,
il faut rester connecté, jouer en équipe, toujours et sans relâche !

Bienvenue dans le monde excitant et extrême du Rugby à 7, désormais olympique,
c'est à peine la mi-temps de la sixième et dernière rencontre du weekend.

Une armée d'ombres s'avance, les visages sont blafards, les yeux délavés, rougis par l'effort, dessinent des orbites exagérément profondes au fond desquelles les pupilles dilatées renforcent le sentiment hagard que donne la petite troupe, les mâchoires sont tendues, les souffles sont asthmatiques... Les démarches déterminées quoique robotiques tranchent presque avec le tableau de ces corps engourdis par les effluves de l'acide lactique.
L'acidose, ou plutôt l'aptitude à repousser puis à vivre au seuil de tolérance de ce shoot indispensable à la performance dans ce sport aux efforts intenses, aléatoires et tellement variés, est l'une des clés de l'entraînement des athlètes quel que soit leur profil.

Les travaux d'Anthony Couderc autour de ce thème, tant dans l'attention portée à l'impact de certaines variables contextuelles, qu'aux détails des différentes réponses métaboliques ou à la précision qu'il porte à l'analyse de l'enchaînement des tâches de haute intensité, sont un véritable apport à la démarche d'entraînement de ces athlètes hors normes, que sont les joueuses et joueurs de rugby à 7 de haut niveau.

Les incidences concrètes qu'auront les conclusions de ces recherches à l'avenir sur le développement de nouvelles formes de méthodologies d'entraînement seront je le pense déterminantes.



Entraîneur de l'équipe de France de Rugby à 7 féminine depuis 2010

I. AVANT-PROPOS

1. Historique

Le Rugby à 7, sport collectif dérivé du Rugby à XV, provient de l'imagination de deux bouchers écossais. À l'occasion d'un tournoi organisé aux bénéfices de leur club en 1883, le « *Sevens* » naît sur le Greenyards du Melrose Rugby Football Club. Certains effectifs étant incomplets et de façon à offrir du spectacle, les bouchers décident de faire jouer les matchs en quinze minutes et de diminuer la taille des équipes à sept joueurs. Ce n'est presque que cent ans plus tard, au Murrayfield Stadium en 1973, que l'*International Rugby Board* (IRB) (aujourd'hui « *World Rugby* » (WR)) organise un tournoi international officiel lors de la célébration du centenaire de la Fédération Écossaise de Rugby à XV. S'affrontent alors huit nations où l'Angleterre, pays vainqueur, est saluée par la presse internationale comme première équipe championne du monde de Rugby à 7. C'est le succès du tournoi d'Hong-Kong en 1976 qui va entraîner la naissance de plusieurs tournois aux quatre coins du monde. La première coupe du monde s'organise en 1993 dans le berceau du Rugby à 7, à Edimbourg en Écosse. S'y opposent vingt-quatre équipes nationales où l'Angleterre l'emporte face à l'Australie (21-17) et où la France se classe à la dixième place. Par la suite, l'IRB organise en 1999 un circuit mondial, le « *World Sevens Series* » (WSS), qui comporte dix tournois, s'étendant sur l'ensemble d'une saison et qui couronne, au cumul de points, la meilleure nation.

Le Rugby à 7 féminin n'arrive que plus tard sur la scène internationale. Le premier circuit mondial est organisé durant la saison 2011/2012 et comprend seulement trois tournois : Dubaï, Hong-Kong et Londres. Aujourd'hui 6 tournois sont organisés à l'occasion du « *World Women's Sevens Series* ».

De l'Afrique du Sud en passant par le Kenya, l'Argentine, les Etats-Unis, le Canada ou encore les Samoa et même jusqu'en Russie, le Rugby à 7 se joue au féminin et au masculin, partout dans le monde. L'universalité de cette discipline entraîne le Comité International Olympique (CIO) à annoncer le 9 Octobre 2009, l'intégration du Rugby à 7 (féminin et masculin) parmi les sports présents aux Jeux Olympiques d'été de 2016, à Rio de Janeiro, marquant ainsi un tournant dans le développement et la promotion de ce sport et ce sur tous les continents.

Au vu de l'intérêt mondial grandissant pour le Rugby à 7 et en conséquence de la concurrence internationale de plus en plus relevée, la Fédération Française de Rugby (FFR) crée en 2010 un Département Olympique au sein de sa direction sportive et professionnalise ses joueurs et joueuses des équipes de France de Rugby à 7, afin que ces derniers se

spécialisent dans cette discipline. En remportant chacune en 2015 leur Championnat d'Europe, les équipes de France à la fois masculine et féminine se sont qualifiées pour le premier tournoi Olympique de Rugby à 7, où ils finirent respectivement à la septième et sixième place.

2. Règlement et organisation du Rugby à 7

Ce format « Sevens » calque son règlement sur le Rugby à XV mais s'en distingue sur différents points.

Sur le plan organisationnel, c'est sous forme de tournoi que ce Rugby se joue avec six matchs en deux jours par équipe. Les matchs se jouent en deux mi-temps de sept minutes (sauf les finales en deux fois dix minutes), opposant sept joueurs de part et d'autre avec cinq remplacements possibles sur un terrain de mêmes dimensions que celui du Rugby à XV.

Sur le plan réglementaire, on peut noter trois grandes différences, 1) les mêlées se disputent à trois joueurs ; 2) l'équipe qui marque engage ensuite ; 3) les pénalités et transformations sont toutes jouées en « *drop goal* » (le ballon est frappé juste après être tombé au sol).

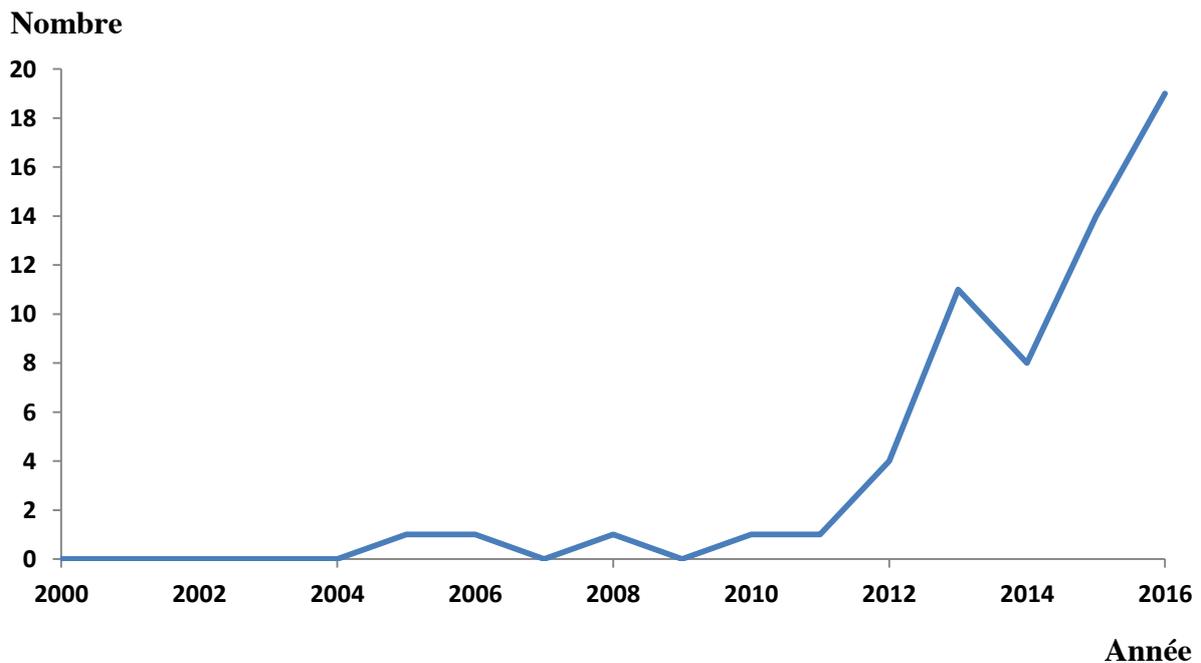
Sur le plan organisationnel, les joueurs sont répartis comme suit : trois avants avec deux piliers et un talonneur, et quatre arrières avec un demi de mêlée, un demi d'ouverture, un centre et un ailier/arrière. Les postes 1, 2 et 3 correspondent respectivement au pilier gauche, au talonneur et au pilier droit qui disputent les mêlées et les touches (ici à trois). Le poste 4 est celui du demi de mêlée qui anime le jeu et qui effectue le plus souvent les touches. Le poste 5 est l'ouvreur : véritable chef d'attaque, chargé souvent du jeu au pied. Les postes 6 (centre) et 7 (ailier) complètent la ligne d'attaque.

3. Engouement pour le Rugby à 7

L'avènement du Rugby à 7 féminin et masculin à l'olympisme engendre une popularité en pleine croissance à différents stades : des quinzistes qui apprécient cette pratique dont le jeu est la sève ; un public qui se déplace pour profiter du côté spectaculaire de cette discipline (l'étape d'Hong-Kong enregistre les plus grosses affluences : 120 000 personnes sur trois jours de compétition en 2014) ; des médias pour couvrir les événements (l'étape de Dubaï de 2014 a pu être suivie par 230 000 000 de foyers répartis sur 140 pays).

Le monde scientifique n'est pas épargné par ce phénomène comme le montre la croissance exponentielle du nombre de publications se consacrant à ce sport depuis l'annonce de son intégration au programme olympique en 2009 (**Figure 1**).

Figure 1 : Evolution de 2000 à 2016, du nombre d'études relatives au Rugby à 7 publiées dans des revues internationales



4. Collaborations pour cette thèse

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du laboratoire « Sport Expertise et Performance » Équipe d'Accueil 7370, de l'Institut National du Sport de l'Expertise et de la Performance (INSEP), en partenariat avec la Fédération Française de Rugby, avec pour objectif d'optimiser la préparation aux Jeux Olympiques. Essentiellement centrés sur la pratique masculine, différents travaux ont été réalisés pour accompagner cette équipe dans sa préparation. La réalisation de cette thèse a donc été le fruit d'un travail collaboratif initié par la cellule recherche de la FFR au travers de l'expertise de Lacomme.M et Piscione.J ainsi que par mes directrices de thèse, Mme Hanon.C et Mme Thomas-Junius.C.

5. Enjeux et plan de cette thèse

Les enjeux de ce travail de thèse, initié en 2013, étaient multiples.

Tout d'abord, comme premier point d'ancrage et à la lumière de multiples travaux, la prise en compte du phénomène complexe que représente un sport collectif paraissait essentielle ; dans ce cadre, la première étude s'est attachée à analyser l'impact du contexte sur les performances techniques et physiques des joueurs.

Ensuite, sur la base d'une approche physiologique, observer les réponses métaboliques des joueurs semblait être une étape fondamentale de nos recherches. En Rugby à 7, la littérature sur le sujet étant peu fournie, il était souhaitable d'investiguer aussi cette composante, clé de la performance. À court terme, ceci nous permettrait de parfaire la préparation des joueurs professionnels pour les Jeux Olympiques ; dans un second temps et à plus long terme, ces observations pourraient servir à la détection de futurs talents puis au développement de programmes d'entraînement spécifiques au Rugby à 7.

Enfin, analyser les exigences techniques et physiques de cette discipline en compétition internationale était incontournable. Examiner les types d'enchaînement d'efforts intenses en match nous paraissait fondamental dans le but de proposer de nouvelles prescriptions d'entraînement spécifiques pour le Rugby à 7.

Afin de répondre à ces problématiques, ce manuscrit se présente alors en huit parties. **La première** partie de ce travail de thèse reposera sur une revue de littérature des différentes méthodes d'analyse de la performance en sport collectif, des différents travaux relatifs à l'analyse de la performance en Rugby à 7, puis des exigences physiques et des réponses physiologiques associées à cette discipline. **La seconde** partie présentera en détail les objectifs de cette thèse. **La troisième**, quant à elle, se centrera sur l'explication des méthodologies spécifiques employées au cours des différentes études de recherche. **Une quatrième** aura en guise de préambule, la description des caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs de l'équipe de France ; cette partie permettra ensuite d'explicitier quelle aura été notre contribution personnelle à l'avancement des connaissances scientifiques dans le domaine de l'analyse du Rugby à 7 et ce, au travers de trois études. Enfin, **les cinquième, sixième et septième** parties de ce manuscrit serviront de support pour discuter, envisager les perspectives et applications pratiques qui se dégageront de ce travail de thèse puis conclure.

6. Aboutissants de cette thèse

Les résultats originaux de ce travail de thèse peuvent avoir plusieurs applications directes concernant l'analyse de la performance en Rugby à 7, le développement de programmes d'entraînement spécifiques à la discipline, jusqu'à la détection de jeunes talents.

Les analyses réalisées en compétitions internationales vont permettre d'aboutir à un descriptif fin de la discipline ; d'inspirer les entraîneurs et préparateurs physiques pour créer des séquences spécifiques d'entraînement pour leurs joueurs afin de développer des compétences spécifiques au Rugby à 7. Les entraîneurs pourront prendre en compte certains résultats pour affiner leur stratégie de coaching au cours des matchs. Les préparateurs physiques, eux, pourront orienter leurs joueurs spécifiquement sur différentes modalités de préparation, en fonction des qualités physiques principales à développer.

II. REVUE DE LITTERATURE

Chapitre 1. Méthode d'analyse de la performance en sport collectif

1. Les différents outils d'analyse de la performance

L'analyse de l'activité en sport collectif existe maintenant depuis plus d'un demi-siècle. Dans les années 50, Winterbottom (1952) s'est intéressé le premier à l'analyse du football en match. Plus tard dans les années 70, Reilly et Thomas (1976) se sont consacrés à l'optimisation des méthodes d'analyse de la tâche pour les sports collectifs en se basant sur les évolutions de la vidéo. Dans les années 2000, Duthie et coll. (2005) et Deutsch et coll. (2007) utilisent eux, l'outil informatique pour accélérer les analyses à partir de logiciel spécifique d'analyse vidéo (Part Timer V1.1, Australian Sports Commission, Canberra). Pour autant, ces méthodes d'analyse peu coûteuses en matériel, présentent des inconvénients majeurs : elles sont chronophages et ne proposent pas une grande reproductibilité.

De fait, ce sont les systèmes semi-automatiques qui se sont développés par la suite. Les plus connus et les plus utilisés actuellement sont les systèmes Amisco (Sport Universal Process, Nice, France) et Prozone (West Yorkshire, Angleterre). Ces systèmes s'organisent autour de six à huit caméras installées et calibrées autour du stade, dont la fréquence d'acquisition est de 25 Hz, de façon à suivre sous tous les angles, les déplacements de tous les joueurs en simultané. Les stades et les terrains équipés sont calibrés en hauteur, profondeur et largeur puis transformés en un espace à deux dimensions afin de calculer instantanément la position des joueurs. La nécessité de l'intervention de l'opérateur se justifie lorsque les joueurs se croisent dans les champs des caméras et/ou lorsqu'il y a des regroupements (fréquent en rugby). Ces systèmes semi-automatiques ont été démontrés comme fiables et reproductibles. L'article de Valter et coll. (2006) en fait la démonstration au travers d'une confrontation des données Prozone à celles issues de cellules photoélectriques. Au cours de courses de 60 m ($r = 0,999$; erreur totale 0,05 ; limite d'agrément 0,12) et de sprint sur 15 m ($r = 0,970$; erreur totale 0,23 ; limite d'agrément 0,85), ils mettent en avant de fortes corrélations entre ces données qui assurent la fiabilité des systèmes semi-automatiques. Au-delà de leur caractère onéreux, leur utilisation s'organise exclusivement autour de l'analyse de match. L'intérêt d'analyser les entraînements étant grandissant, alors, c'est l'outil GPS (« *Global Positionning System* ») qui a été développé et adapté au contexte sportif.

D'abord élaboré par le département de la défense du gouvernement des États-Unis pendant la guerre froide, le GPS se compose de trois éléments clés : les satellites spatiaux, les stations de contrôle sur terre et les récepteurs GPS. Le système GPS dispose de vingt-quatre satellites qui tournent autour de la Terre en six trajectoires orbitales, émettant des signaux radio depuis leurs positions en orbite qui s'élèvent à plus de 20 000 kilomètres au-dessus de nos têtes. Les satellites émettent ainsi des signaux couvrant chacun une vaste zone de la surface de la Terre et leurs orbites sont mises en chorégraphie de telle manière que les récepteurs GPS sur Terre reçoivent toujours des signaux d'au moins trois satellites, le nombre dont nous avons besoin pour déterminer une position par simple triangulation. Il existe cinq stations de contrôle : la station principale de Colorado Springs aux États-Unis, et quatre stations inhabitées ; l'une se trouve à Hawaï, les trois autres sont dans des endroits lointains, aussi près que possible de l'équateur : l'île de l'Ascension au milieu de l'Atlantique, Kwajalein dans le Pacifique et l'Atoll de Diego Garcia dans l'Océan Indien. Les quatre stations inhabitées reçoivent constamment des données depuis les satellites et les transmettent à la station de contrôle principale qui les corrige et renvoie ensuite ces données corrigées vers les satellites. Les récepteurs GPS captent les signaux des satellites pour déterminer une position. Le principe du système GPS est de mesurer le temps nécessaire à un signal radio émis par une balise sur Terre, pour être réceptionné par un satellite. C'est à partir de cette vitesse de propagation du signal radio qu'il devient possible de calculer la distance entre le satellite et la balise par intégration. Plus il y aura de satellites, plus précise sera la localisation.

L'utilisation de cet outil s'est très largement répandue dans le milieu sportif depuis une dizaine d'années dans le but de quantifier/qualifier les déplacements des sportifs. Du football australien aux différentes pratiques du rugby (à XV, à XIII et à 7) en passant par le cricket ou encore le hockey, énormément de disciplines utilisent ce matériel. Sous couvert des « *sport-scientists* », tous se sont intéressés à cet outil de façon à mieux comprendre leur discipline sportive à l'entraînement et en compétition.

Jusqu'en 2010, l'IRB n'autorisait pas le port de GPS en compétition, ce qui limitait leur utilisation exclusive à l'entraînement. Face à l'engouement et aux motivations d'une majorité de nations, l'IRB fini par autoriser le port du GPS en match, sous condition d'importantes démarches administratives à mettre en place (consentement de l'organisateur du tournoi, des joueurs portant les GPS ainsi que de leurs adversaires).

Synthèse : Les différents outils d'analyse de la performance

- . L'analyse des sports collectifs est au départ basée sur l'analyse vidéo.
- . Les systèmes semi-automatiques s'organisent autour du recueil de données de plusieurs caméras, pour suivre sous plusieurs angles les déplacements des joueurs (fournisseurs principaux : Amisco et Prozone).
- . Principe du GPS : calcul de la vitesse d'un signal entre une balise et un satellite pour déterminer une position.

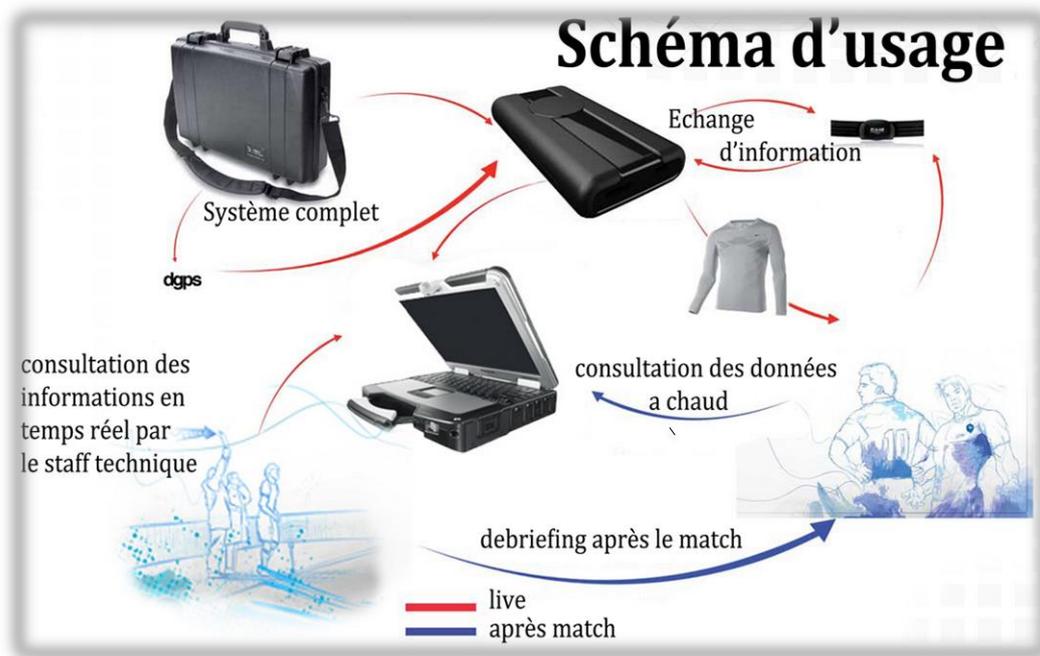
2. La validité et la reproductibilité des données GPS

Les tests de validité et reproductibilité des données issues des GPS pour l'analyse des sports collectifs ont été multiples ces dernières années (Petersen et coll. 2009, Coutts et coll. 2010, Duffield et coll. 2010, Jennings et coll. 2010, Waldron et coll. 2011, Johnston et coll. 2012, Duncan et coll. 2013). Ces études ont mis en œuvre différents moyens afin de justifier de la qualité des données issues des GPS utilisés. En effet, concernant la validité, les GPS ont souvent été confrontés à d'autres systèmes de mesure dont la validité était déjà prouvée : cellule photoélectrique, radar (50 Hz), jusqu'au système déjà en place pour l'analyse de match comme les systèmes semi-automatiques. Les conclusions soulignent logiquement que plus la fréquence d'échantillonnage des GPS est grande (1, 5 et 10 Hz) meilleure sera la validité des données. En effet, Varley et coll. (2012) ont démontré par exemple qu'un GPS 10 Hz était deux à trois fois plus précis qu'un GPS 5 Hz (coefficient de variation de 3,1 à 11,3%). Récemment, Nagahara et coll. (2016), ont démontré que des GPS 20Hz surestiment la V_{\max} de seulement 0,1%, alors que des GPS 5Hz vont eux la sous-estimer de -4,8%, comparé à des données radar. Pour les tests de reproductibilité, c'est sur la base de distance à parcourir à différentes allures (marche, footing, course et sprint) incluant des changements de direction, que les systèmes ont été évalués. Les études ont plus de difficultés à s'accorder ici, pour autant, elles soulignent que plus le volume de course augmente, plus la reproductibilité est grande, et qu'inversement, plus l'intensité augmente plus la reproductibilité des données diminue (au cours d'une tâche de marche de 8800 m, le coefficient de variation est de 1,4 à 2.6% alors qu'il passe de 19,7 à 30.0% sur un sprint de 20 m) (Aughey et coll. 2011).

Une revue de littérature récente (Malone et coll. 2016), précise qu'il serait intéressant d'élaborer une approche standardisée des données GPS afin de comparer plus facilement les données d'une étude à une autre, pour mieux comprendre les performances des athlètes.

La FFR, en collaboration avec la marque Digital Simulation (*SensorEveryWhere*, France), utilisait de 2010 à 2015, des GPS à la fréquence d'acquisition de 8 Hz (16 Hz aujourd'hui), qui permettent le suivi des joueuses et joueurs des différentes équipes de France, à la fois pendant les entraînements mais aussi au cours des matchs internationaux. Ce matériel se compose d'une valise regroupant trente balises GPS, un bloc antennes et un ordinateur à usage exclusif des données (**Image 1**).

Image 1 : Schéma d'usage de l'outil d'analyse : GPS Digital Simulation



La validité et la reproductibilité des données issues des GPS utilisés par la FFR, ont été observées en interne au travers des travaux de Peeters et coll. (2016). Ces derniers ont comparé les données issues des GPS avec celles de matériels validés par la littérature comme le système radar et celui des cellules photoélectriques. Ils affirment donc que : (1) une différence *trivial* existe entre la vitesse obtenue par les GPS et celles des cellules photoélectriques ($0,11, \pm 0,04 \text{ m.s}^{-1}$) avec une erreur typique de mesure de $0,04, \pm 0,01 \text{ m.s}^{-1}$ (avec un intervalle de confiance de 90%) ; (2) une *faible* erreur typique de mesure est à noter d'un GPS à un autre ($0,01, \pm 0,01$ à $0,04, \pm 0,04 \text{ m.s}^{-1}$ et $0,5, \pm 0,15$ à $0,6, \pm 0,35\%$ de la marche au sprint, respectivement) ; (3) une différence *trivial* lors des mesures de vitesse maximale et d'accélération est aussi à relever, d'un GPS à un autre ($0,06, \pm 0,03\%$ et $3,1, \pm 6,4\%$ respectivement). Ils en concluent donc que la technologie utilisée propose des données valides et reproductibles pour l'analyse en sport collectif.

3. Les méthodes d'analyses des données GPS

Cummins et coll. (2013) ont eux, publié une revue de littérature se basant sur trente-cinq études afin d'analyser le type de données GPS récoltées. Ce travail avait inclus toutes les études comportant des données GPS recueillies dans différentes disciplines : huit en football australien, sept en football, six en rugby à XV, six en rugby à XIII, trois en cricket, trois en hockey une en lacrosse et une en netball. Cette revue de littérature conclue qu'il n'y a en fait ni consensus inter-, ni intra-disciplinaire, concernant les classifications des zones de course, ce qui rend difficile la comparaison des données d'un sport à l'autre. Elle souligne que la reproductibilité des données semblerait diminuer avec l'augmentation des courses à haute intensité ($> 20 \text{ km.h}^{-1}$) et que la validité augmente lorsque le volume de course est important. Enfin, la notion de distance relative (m.min^{-1}) qui exprime la distance parcourue en rapport au temps de jeu, paraît comme un élément fondamental pour pouvoir comparer des données intra- ou inter-discipline d'études différentes. Cette revue n'a que peu traité les données relatives aux accélérations et aux impacts car peu d'articles s'y étaient attardés. Concernant les accélérations, les auteurs comptabilisaient seulement cinq études traitant de ces données qui en sport collectif, ont malgré tout leur importance ; pour autant, ils dénonçaient que le manque de données à ce sujet relevait certainement de l'incapacité des fabricants à assurer la validité de ces dernières (ce, avant l'arrivée des GPS à 10 Hz). Concernant les données d'impacts, seulement 14,3% des articles étudiés abordaient ce sujet ; c'est en Rugby à XV et à XIII, en comparant les données par poste, que les auteurs avaient porté le plus d'intérêt à ce paramètre qui, relatif aux phases de combat, fait partie intégrante de l'activité rugby.

À notre connaissance, seules deux études se sont consacrées à l'analyse de la qualité des données d'accélérations, fournies par les accéléromètres intégrés aux balises GPS. Si Buchheit et coll. (2013) montrent à l'aide d'une analyse mécanique que les données d'accélération doivent être utilisées avec précaution car la variabilité inter-unité peut s'étendre de 1 à 56%, Akenhead et coll. (2013), ajoutent eux, que la précision au-delà des 4 m.s^2 est souvent réduite

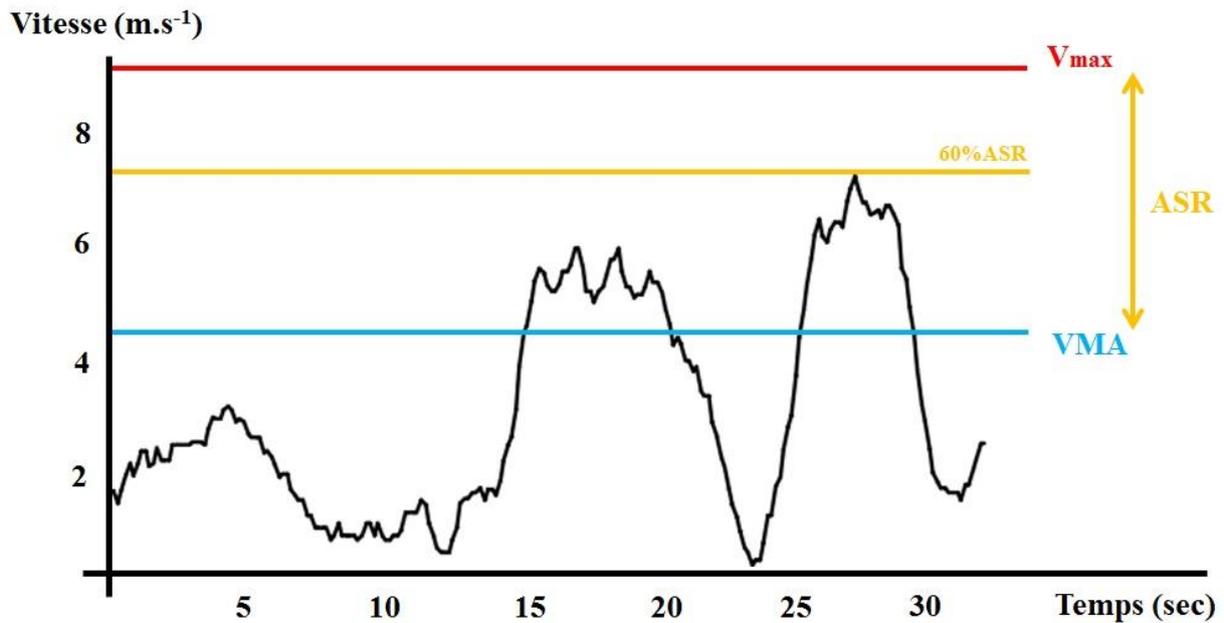
Des données récoltées par ces GPS, le principal paramètre observé dans un premier temps est celui de la **distance totale (DT)** parcourue en mètre par les joueurs. Il permet de donner une indication de la charge globale imposée par l'activité mais pour autant, ne nous renseigne pas sur l'intensité de cette charge. De fait dans un second temps, la DT est souvent relativisée au temps de jeu (**distance relative**), de façon à donner aux observateurs une information sur le « rythme » du match (exprimée en m.min^{-1}).

Les premières analyses des mouvements en sport collectif fixent des zones de vitesse correspondantes chacune à une catégorie d'intensité. Comme expliqué dans la revue de littérature de Cummins et coll. (2013), ces catégories de course couvrent souvent quatre zones, par des allures allant de 0 à 36 km.h⁻¹, décrivant les déplacements de la marche jusqu'au sprint. Cependant, aucun consensus n'est établi concernant la définition des différentes zones. Ainsi, le nombre de catégories d'intensité varie en fonction des études. On retrouve néanmoins, presque systématiquement les catégories du type « station debout », « marche » et « jogging ». Les seuils de vitesse utilisés pour différencier ces catégories de course varient également d'une étude à l'autre. Dans l'étude de Suarez-Arrones et coll. (2012), nous avons l'exemple d'une catégorisation de course : l'activité de marche correspond à une vitesse comprise entre 0 - 6,0 km.h⁻¹, le jogging entre 6,1 - 12,0 km.h⁻¹, la course entre 12,1 - 14,0 km.h⁻¹, la course rapide entre 14,1 - 18,0 km.h⁻¹, la course à haute intensité entre 18,1 - 20,0 km.h⁻¹ et l'activité de sprint au-delà des 20,1 km.h⁻¹. En comparaison, l'étude de Granatelli et coll. (2014) fait la distinction des catégories de course au travers d'un seuil arbitraire : l'activité à faible intensité entre 0,1 - 14 km.h⁻¹ et celle à haute intensité supérieure à 14,1 km.h⁻¹.

Pour aller plus loin dans l'analyse de l'exigence en sport collectif et afin d'observer les exigences physiques, Cahill et coll. (2013) en Rugby à XV, ont été les premiers à proposer des catégories d'intensité de course individualisées par rapport à la vitesse maximale (V_{max}) des joueurs. C'est-à-dire qu'ils observaient les allures de course vis-à-vis de la plus grande vitesse (vitesse pic), qu'ils étaient capables d'atteindre sur un test de vitesse maximale. Lovell et Abt (2013) ajoutent par la suite l'intérêt d'observer aussi, les déplacements des joueurs en rapport à leurs vitesses maximales aérobies (VMA) afin de mieux se rendre compte de la dépense énergétique qui en résulte car c'est à VMA, que l'individu consomme le maximum d'oxygène ; autrement dit, c'est à cette allure qu'il atteint sa VO_{2max} . La même année, Mendez-Villanueva et Buchheit mettent en application ce système de quantification et y ajoutent la notion de vitesse anaérobie de réserve (« *anaerobic speed reserve* », ASR), représentant la différence entre la V_{max} et la VMA. Catégoriser les courses vis-à-vis de la VMA, de la V_{max} et de l'ASR, permet aux analystes de performance d'observer à la fois les différents rythmes réalisés au cours des matchs mais aussi et surtout de pouvoir se projeter sur les dépenses énergétiques individuelles qui en découlent.

Ci-après, la **Figure 2** illustre le déplacement d'un joueur pendant une séquence de jeu de 30 secondes au cours d'un match, séquence au cours de laquelle il réalise deux accélérations. Nous pouvons y observer les différentes vitesses atteintes et ainsi, le découpage de l'allure de course individualisée.

Figure 2 : Déplacement d'un joueur pendant une séquence de jeu de 30 secondes. Découpage de l'allure de course individualisée et vitesses atteintes.



Légende : V_{max} : vitesse maximale ; VMA : vitesse maximale aérobie ; ASR : vitesse de réserve anaérobie

Ainsi, l'analyse des déplacements des joueurs pourrait devenir un moyen d'objectiver la charge externe au cours d'un match. De plus, le temps passé dans chaque zone de course individualisée, peut orienter les préparateurs physiques dans la mise en place de futures séances de préparations physiques courues en rapport aux allures exigées par la discipline.

En l'absence de méthode de référence concernant la méthode d'analyse de performance en sport collectif, toutes les techniques d'analyses préalablement explicitées, ont été évaluées comme capable de fournir des analyses de mouvement justes et réalistes, de la performance des joueurs (Higham et coll. 2012). De plus, les analyses basées sur la vidéo, les systèmes de caméra multiples et l'utilisation des GPS, sont toutes en capacité de détecter en compétition, les mêmes diminutions de performances (Randers et coll. 2010).

Cependant, les différences substantielles qui existent entre ces résultats suggèrent que des précautions soient prises lorsque l'on souhaite comparer entre elles ces données (Randers et coll. 2010 ; Harley et coll. 2011).

Synthèse : Validité et reproductibilité, méthodes d'analyses des données GPS

- . Validité : elle augmente avec l'augmentation de la fréquence d'échantillonnage.
- . Reproductibilité : elle augmente avec l'augmentation du volume de course.
- . Difficulté de comparer les données GPS d'une étude à l'autre car il n'existe pas de méthode de référence concernant la classification des zones de course.
- . Catégoriser les courses vis-à-vis de la VMA, de la V_{\max} et de l'ASR, permet aux analystes de performance de se projeter sur les dépenses énergétiques individuelles des joueurs.

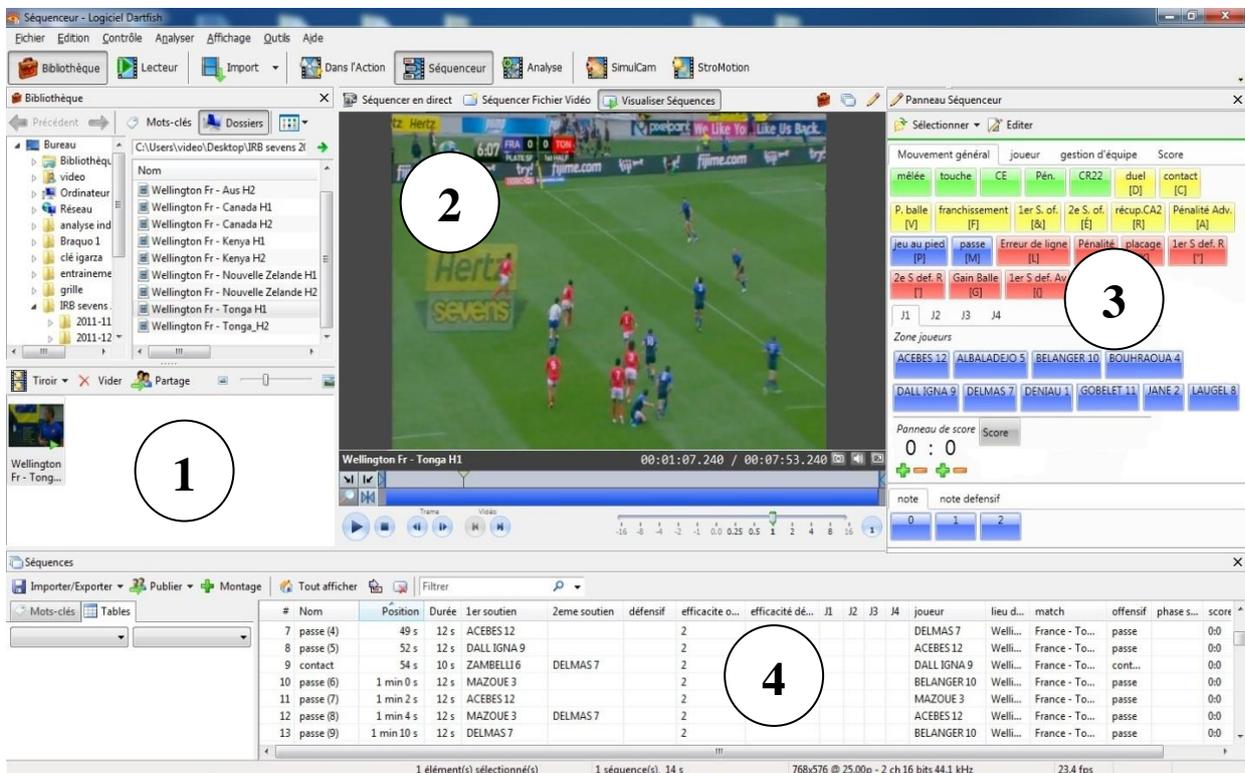
Si l'analyse des données GPS est aujourd'hui une source d'informations importante à exploiter pour l'analyse de la performance, elle devrait sans nul doute se coupler systématiquement avec une analyse technique de l'activité. Par le biais d'une analyse notationnelle, nous pourrions alors appréhender de manière plus précise, la performance globale des joueurs au cours d'un match.

4. L'analyse notationnelle

L'intérêt de l'analyse de l'efficacité en sport collectif prend tout son sens et beaucoup d'importance via le professionnalisme des différentes activités sportives. La construction de critères d'efficacité formalise alors l'évaluation des performances des joueurs. Pour autant, ce système laisse un choix à l'observateur ce qui peut engendrer une certaine subjectivité dans l'évaluation. La subjectivité naît à partir du moment où l'activité d'un sujet est engagée bien qu'il n'y ai pas d'ambiguïté dans la définition des critères, la liberté existe dans l'attribution de l'évaluation d'une action.

Dans ce cadre et de façon à amoindrir ce biais, l'analyse notationnelle est réalisée par un analyste-vidéo. Expert du rugby, il est à même de porter un jugement sur la performance des joueurs. Son analyse consiste à répertorier les actions des joueurs sur le terrain et d'y associer leur efficacité. Les critères qu'il utilise découlent d'une part de son expertise rugbystique et d'autre part de la vision de l'entraîneur pour lequel il réalise les analyses. L'Image 2 propose une capture d'écran du logiciel Dartfish, fréquemment utilisé dans l'analyse et le découpage de match en sport collectif.

Image 2 : Capture d'écran du logiciel Dartfish



La zone 1 est la bibliothèque qui contient les vidéos importées. La zone 2 est l'écran vidéo qui permet la lecture de la vidéo choisie. La zone 3 représente le panneau séquenceur sur lequel il est possible de créer différentes séquences. La zone 4 liste les séquences créées lors du match. Cette liste permet également de re-visionner mais aussi de créer des fichiers spécifiques utilisables sous le logiciel Excel pour réaliser in fine, le traitement des données.

Dans l'activité rugby, les tâches qui vont être analysées sont de deux sortes : les phases statiques et les actions de jeu.

a. Les phases statiques

Les coups d'envoi ou de renvoi, premiers moyens de mettre en jeu le ballon, sont réalisés pour débiter le match, la seconde mi-temps et pour réengager le jeu après chaque essai. Le joueur le réalise en bottant le ballon tombé sur ou en arrière de la ligne médiane. Le ballon doit faire obligatoirement plus de 10 m.

Les coups de renvoi au 22 peuvent être bottés de n'importe quel endroit situé sur ou en arrière de la ligne des 22 m.

Les touches qui organisent la remise en jeu du ballon lorsque celui-ci est sorti du terrain ; elles se caractérisent par l'alignement de joueurs en deux rangées parallèles, perpendiculaires à la ligne de touche ; au moins deux joueurs de chaque équipe doivent former cet alignement et l'équipe procédant à la remise en jeu fixe le nombre maximum de joueurs présents ; les joueurs participant à l'alignement peuvent changer de position avant le lancer et vont lutter dans les airs pour la récupération du ballon. Pour cela, c'est souvent deux joueurs qui en soulèvent un troisième (le « *lift* »), pour se saisir du ballon en plein vol.

Les mêlées ont lieu lorsqu'un en-avant ou une faute involontaire a été commise. Elles se forment dans le champ lorsque trois joueurs de chaque équipe, liés entre eux sur une ligne se joignent à leurs adversaires de façon à ce que les têtes des joueurs soient imbriquées ; cela crée un « tunnel » dans lequel le demi de mêlée introduit le ballon. Chaque ligne pousse le plus fort possible pour s'emparer de la balle alors que les talonneurs de chacune des formations essaient avec leurs pieds de ramener le ballon vers leur camp.

Les pénalités sont sifflées par l'arbitre en cas de faute d'un joueur. Elles donnent le droit aux adversaires de frapper au but, taper en touche ou dans le champ, jouer rapidement ou demander une mêlée.

b. Les actions de jeu (offensives et défensives)

Les plaquages consistent à arrêter la progression d'un adversaire en possession du ballon, en le saisissant en dessous de la ligne des épaules, jusqu'aux chevilles, pour le faire tomber. Un joueur plaqué doit immédiatement relâcher le ballon quand il est à terre alors que le plaqueur doit lui, lâcher immédiatement le joueur plaqué.

Les contacts sont définis lorsqu'un joueur entre en collision avec un adversaire (en percutant ou en étant plaqué).

Les rucks eux, sont des phases dites de combat qui sont codées lorsqu'un joueur entre en contact avec un autre avec ses épaules et si une lutte s'engage (après une situation de plaqueur/plaqué). C'est un regroupement d'au moins 2 joueurs de chaque équipe qui luttent pour s'emparer du ballon qui est au sol. Dans ce cas, les joueurs participants sont qualifiés de soutien(s) offensif(s) ou défensif(s).

Les passes sont les éléments incontournables pour déplacer le ballon sur l'aire de jeu avec pour seule contrainte leur réalisation qui doit se faire vers l'arrière ou sur la même ligne.

Le jeu au pied qui lui aussi, permet de déplacer le ballon au cours du jeu, peut aussi parfois permettre au joueur de se dégager d'une zone dite de risque.

Méthode d'analyse de la performance en sport collectif : l'essentiel

✓ *GPS*

Principe du GPS : calcul de la vitesse d'un signal entre une balise et un satellite pour déterminer une position.

Validité des données GPS : elle augmente avec l'augmentation de la fréquence d'échantillonnage.

Reproductibilité des données GPS : elle augmente avec l'augmentation du volume de course.

✓ *Catégories de course*

La littérature scientifique ne propose pas de méthode de référence concernant la classification des zones de course pour l'analyse descriptive des performances physiques. Prendre en compte la VMA et la V_{\max} des joueurs pour décrire les performances physiques nous paraît aujourd'hui incontournable pour appréhender de façon plus précise la charge interne du sujet.

✓ *Analyse notationnelle*

L'analyse notationnelle met en place la construction de critères d'efficacité pour formaliser l'évaluation des performances des joueurs sur le terrain.

Elle est réalisée par un spécialiste du rugby qui répertorie deux types d'actions : les phases statiques et les actions de jeu.

Chapitre 2. Le Rugby à 7 et ses spécificités

Après avoir énoncé les différents processus et moyens d'évaluation de la performance en sport collectif, nous allons maintenant aborder l'activité sur laquelle nous avons consacré l'essentiel de nos recherches ainsi que nos analyses : le Rugby à 7.

Au vu des spécificités du Rugby à 7 explicitées en introduction, cette discipline constitue une pratique à part entière qui diverge largement du rugby à XV. Bien que d'origine ancienne, l'introduction récente de cette discipline au programme olympique a entraîné une élévation rapide du niveau de jeu et de la concurrence de nations émergentes. Van Rooyen et coll. (2008), ont observé qu'au cours de la Coupe du Monde 2005, le temps de jeu moyen d'une mi-temps de Rugby à 7 était de 7 min et 18 ± 27 secondes, dont 52% en temps de jeu effectif. Les statistiques effectuées par WR démontrent que ce temps de jeu effectif se maintient depuis la saison 2011-2012 jusqu'à cette saison (50 à 51%) (« *Game Analysis Statistical Report* » WR 2015).

1. Les exigences techniques en Rugby à 7

Malgré les différences avec son homologue quinziste, le joueur de Rugby à 7 doit tout de même réaliser les mêmes tâches au cours du jeu : passes, plaquages, rucks, mêlées, coups d'envoi, touches jusqu'aux transformations. Ci-après, pour plus de clarté dans nos propos, nous allons souligner les spécificités de ces tâches (que nous avons définies précédemment), dans la pratique du Rugby à 7.

La passe, est un des éléments incontournables du rugby pour faire déplacer le ballon : il en existe toute une panoplie : à plat, vrillée, vissée, volleyée, redoublée, en chistera. En Rugby à 7, la longueur moyenne des passes est plus importante qu'à XV et chaque joueur doit être capable de réaliser des passes longues.

Le plaquage, la phase combattue de la discipline, est l'un des principaux moyens de défense. En Rugby à 7, le duel défensif, en un contre un, s'effectue souvent sur un espace proche de 10 mètres. Par conséquent, il est plus difficile pour les partenaires de compenser les erreurs de plaquage qui induisent facilement un essai.

Le ruck, véritable phase de lutte, est l'une des actions de jeu les plus complexes du rugby. En Rugby à 7, certaines équipes décident parfois de ne pas jouer cette phase de jeu, de façon à défendre mieux sur l'espace restant, plutôt que de « consommer » des joueurs dans le regroupement (phénomène peu observé à XV). Etant donné la clarté du jeu (due au nombre de joueurs), les règles du ruck sont les mêmes, pour autant, les arbitres sont moins tolérants et demandent aux joueurs une plus grande précision.

La mêlée, contrairement au XV, est en Rugby à 7 une phase de jeu très rapide. Explosive, elle est peu souvent rejouée.

Le coup d'envoi est une phase très importante dans le Rugby à 7 car contrairement au rugby à XV, lorsqu'une équipe marque, elle engage à nouveau. Or à ce jeu, il est très important de réussir ses coups d'envoi, pour tenter d'obtenir la possession de la balle.

La touche en Rugby à 7 est souvent lancée par le numéro 4 (contrairement à XV où le talonneur est le lanceur). Ici, si l'alignement n'est pas marqué, alors l'équipe en possession de la balle peut jouer la touche rapidement.

La distribution de ces différentes phases a été observée au travers de quelques études ayant analysé la performance en compétition de Rugby à 7. En effet, Higham et coll. (2014) ont analysé sur neuf tournois de la saison 2011-2012, le nombre de passes, coups de pieds, plaquages (réussis et manqués) ainsi que le nombre de rucks effectués par match par équipe (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Analyse de la performance en compétition internationale de Rugby à 7. Quantification des indicateurs de performance par match et par équipe.

Indicateurs de performance	Moyenne ± Ecart-type	Différence standardisée (intervalle de confiance ± 90 %)
Passes	31,5 ± 5,6	± 1,1
Coups de pieds	1,23 ± 0,73	± 0,16
Plaquages réussis	14,9 ± 2,9	± 0,7
Plaquages manqués	4,3 ± 1,3	± 0,3
Rucks	7,72 ± 2,56	± 0,61
Essais	2,35 ± 1,03	± 0,27

D'après une étude d'Higham et coll. (2014)

Ici, nous pouvons donc observer qu'au cours d'un match de Rugby à 7, une équipe réalise en moyenne $31,5 \pm 1,1$ passes, $19,2 \pm 1,0$ plaquages et $7,7 \pm 0,6$ rucks. Ceci rend compte de l'hyper-activité des 12 joueurs d'une équipe de Rugby à 7.

Comparativement à l'activité des 23 joueurs d'une équipe de rugby à XV qui se partagent 131 passes, 120 plaquages et 79 rucks par match (« *Game Analysis Statistical Report* » *WR Six Nations 2016*), si nous rapportons ces données par joueur et par minute, nous pouvons observer les différences suivantes : 0,19 passe/joueur/minute en Rugby à 7 contre 0,07 à XV, 0,11 plaquage/joueur/minute en Rugby à 7 contre 0,07 à XV et 0,05 rucks/joueur/minute en Rugby à 7 contre 0,04 à XV. De plus, si nous prenons en compte que les joueurs de Rugby à 7 réalisent six matchs par tournoi, nous pouvons d'autant plus apprécier encore une fois, l'hyper-activité de ces joueurs.

Synthèse : Les exigences techniques en Rugby à 7

- . Tous les éléments techniques du rugby à XV se retrouvent à 7 (passes, plaquages, rucks, mêlées, coup d'envoi, touches ...) pour autant, quelques différences techniques sont à noter.
- . En moyenne : 32 passes, 19 plaquages et 8 rucks par match et par équipe.

*Suite à l'analyse des exigences techniques en Rugby à 7,
nous pouvons nous poser la question de savoir si certaines conditions issues du contexte,
pourraient influencer ces performances ?*

2. L'impact des variables contextuelles en Rugby à 7

Les performances en sport collectif au cours des compétitions, pourraient être qualifiées de « dynamiques ». La complexité et la nature intermittente des sports collectifs amènent les performances à fluctuer du début à la fin d'une saison, à évoluer d'un match à l'autre jusqu'à se différencier d'une mi-temps à une autre. Ce caractère dynamique, particulier au sport collectif, est sous-tendu par différents facteurs pouvant impacter les performances des joueurs.

Au milieu des années 90, c'est autour de l'activité du football que les auteurs s'intéressent en premier à l'impact des variables qu'ils appellent « de situation ». Nevill et coll. (1996), font une première analyse sur l'intégralité d'une saison en football anglais et écossais, où ils confirment sur plusieurs divisions analysées, que 60% des matchs joués à domicile ($p < 0,001$) étaient des matchs gagnés ; dans ce cadre, ils énonçaient donc l'avantage de jouer à domicile. Par la suite, les études vont se multiplier sur le sujet et vont se préciser à mesure que l'analyse de la performance va s'affiner. Les études de Taylor et coll. (2008) (quarante matchs de football), et Kempton et coll. (2015) (vingt-quatre matchs de rugby à 13), sur de grands échantillons de match, vont montrer l'influence de différents facteurs contextuels sur la performance. Le lieu du match (à domicile ou à l'extérieur), le niveau de l'opposition, l'issue du match (victoire ou défaite), le score à la mi-temps, les remplacements des joueurs, les conditions climatiques, sont des facteurs qui ont été observés à travers différentes disciplines pour tenter d'expliquer des fluctuations de performances. Récemment, les travaux de Paul et coll. (2015) ont montré en football que trop souvent, les performances physiques en match étaient étudiées sans prendre en compte l'impact de multiples facteurs qui peuvent agir sur la performance. En effet pour ces auteurs, au-delà des facteurs cités précédemment, ils y ajoutent la partie mentale des joueurs et l'influence de l'entraîneur qui peuvent elles aussi, moduler la performance.

Sur cette problématique, une seule étude connue jusqu'à aujourd'hui s'est intéressée au Rugby à 7. Murray et coll. (2014) ont observé l'influence du score à la mi-temps, le niveau de l'opposition et les remplacements, sur l'activité de dix-sept joueurs au cours de vingt-quatre matchs de Rugby à 7. Les résultats de cette étude sont les suivants :

- Influence d'un score gagnant (plus de 7 points d'écart) à la mi-temps : en seconde mi-temps, la distance parcourue à haute intensité sur la première minute est

plus importante que celle en première mi-temps (33 ± 24 m vs. 22 ± 18 m) (ES = 0,81). La distance totale parcourue sur la première minute est elle aussi plus importante (119 ± 33 m vs. 123 ± 41 m) (ES = -0,78).

- Influence du niveau de l'opposition : lorsque l'équipe joue contre une équipe forte, les joueurs parcourent plus de distance relative en première mi-temps en comparaison avec la seconde (107 ± 14 m vs. 89 ± 15 m) (ES = -1,25). Inversement, lorsque l'équipe joue contre une équipe faible, les joueurs réalisent un pic de course à haute intensité plus important sur la première minute de la seconde mi-temps (35 ± 24 m vs. 26 ± 18 m) (ES = 0,68).

- Influence du remplacement des joueurs : les joueurs remplaçants qui entrent en fin de match parcourent plus de distance relative (100 ± 28 m vs. 86 ± 19 m) (ES = 0,69), plus de distance à haute intensité (25 ± 15 m vs. 19 ± 8 m) (ES = 0,58) et réalisent plus d'accélération ($1,5 \pm 1,2$ vs. $1,1 \pm 0,6$) (ES = 0,55) que les joueurs ayant joué l'intégralité du match.

L'entraîneur qui n'a pas la main mise sur le déroulement du match et du score à la mi-temps, a néanmoins le pouvoir de modifier son équipe au fil du match. Stratégiquement, l'entraîneur peut ainsi considérer qu'un remplaçant peut avoir une activité plus importante qu'un joueur titulaire. La stratégie à mettre en œuvre pourrait alors être le coaching de 3 à 5 joueurs en même temps (en milieu de seconde période), pour tenter d'augmenter véritablement, l'intensité du jeu de son équipe en fin de match.

Etonnement, l'impact de ces variables a été observé seulement sur les performances courues des joueurs. Nous pouvons alors nous poser la question de l'impact de ces variables sur les performances techniques des joueurs ; or, à notre connaissance, ceci n'a pas été traité en Rugby à 7.

Synthèse : L'impact des variables contextuelles en Rugby à 7

- . Les performances en sport collectif sont qualifiées de « dynamiques ».
- . Différentes variables ont été observées : lieu du match (à domicile ou à l'extérieur), niveau de l'opposition, issue du match (victoire ou défaite), score à la mi-temps, remplacements des joueurs, conditions climatiques.
- . En Rugby à 7, un score « gagnant » (> 7 points) à la mi-temps, engendre une activité plus intense en début de seconde période comparé en première période ; les remplaçants ont une activité plus importante et plus intense que celle des joueurs ayant débuté le match.

Après l'impact des variables contextuelles, quel est celui du poste des joueurs ?

3. L'impact du poste des joueurs (avant/arrière)

Comme explicité en avant-propos, les joueurs en Rugby à 7 sont répartis comme suit : trois avants (deux piliers et un talonneur) et quatre arrières (dont un demi de mêlée).

a. Les avants

. **Le N°1**, le pilier gauche, occupe le côté gauche de la mêlée, la tête dehors, il est chargé d'assurer la conquête du ballon. Ce poste est réservé à un joueur plutôt grand, doté d'un potentiel force et détente important. Le plus souvent, il officie aussi comme sauteur, aussi bien sur les touches que sur les renvois.

. **Le N°2**, le talonneur est souvent un joueur très complet, capable de s'adapter à toutes les tâches. Par exemple sur les mêlées fermées, il doit être capable de passer en une fraction de seconde de son rôle de talonneur à celui de demi d'ouverture lorsqu'il se replie. Puissant, c'est un pilier droit qui se déplace beaucoup plus. Il sera aussi lifteur sur le jeu aérien.

. **Le N°3**, le pilier droit est plus massif que son homologue à gauche. La dominante force qui le caractérise le conduit à produire des efforts plus importants en mêlée fermée. Souvent utilisé comme lifteur sur les phases aériennes, il est compétent sur les tâches de combat au sol.

b. Les arrières

. **Le N°4**, le demi de mêlée, considéré comme le chef d'orchestre, introduit le ballon en mêlée et assume la charge du lancer en touche. Relayeur sur toutes les phases statiques, il est au départ de tous les lancements des actions à partir des mêlées, touches ou renvois. Il assume également le rôle du libéro qui assure la couverture profonde du terrain lorsque cela est nécessaire.

. **Le N°5**, l'ouvreur est le premier attaquant de ligne des trois-quarts. Il est chargé d'impulser la dynamique du mouvement à l'issue des phases statiques. Il est généralement responsable du jeu au pied de récupération à partir des renvois.

. **Le N°6**, le centre est le second attaquant de la ligne de trois-quarts. Aussi perforateur qu'il doit être passeur, il est chargé de déplacer le ballon et doit prendre beaucoup de décisions. Toujours au milieu de la ligne, il est la clé de voûte du système défensif. Il génère autour de lui beaucoup de duels, défensifs comme offensifs.

. **Le N°7**, l'ailier : le troisième attaquant parmi les trois-quarts, est le joueur qui évolue en bout de ligne. Position qu'il ne quitte pas ou très peu, notamment sur les phases statiques.

Finisseur dans l'âme, il doit aussi être capable d'assumer le rôle dit du libéro et pouvoir assurer la couverture arrière sur certaines phases de jeu.

Très étudiées en Rugby à XV, les différences de performances en fonction des postes tenus par les joueurs l'ont aussi été en Rugby à 7. Quelques études présentées dans le **Tableau 2**, ont comparé certaines performances réalisées par les joueurs de Rugby à 7 en fonction de leur poste : avant ou arrière.

Tableau 2 : Comparaison des performances de joueurs de Rugby à 7 en fonction des postes : avant ou arrière

	Déplacement et distance parcourue			Technique	Combat	FC		
Avant	Enregistrent plus de situations de position statique et de course type jogging	1 ^{ère} MT et 2 ^{nde} MT : 599 ± 60 m et 540 ± 51 m	Diminution des distances parcourues à haute intensité (>14 et 20km/h) entre la 1 ^{ère} et la 2 ^{nde} MT	Parcourent plus de distance totale (ES=0,45) et plus de distance en dessous de 5m.s ⁻¹ (ES=0,50)	NR	Réalisent plus de rucks (ES=0,26) et plus de contests (ES=0,31)	NR	La moyenne est identique bien que les avants passent 22,7% plus de temps à des FC > à 90% de FC _{Max}
Arrière	Jogging : 51 ± 10 m vs. 61 ± 13 m (p< 0,05)	1 ^{ère} MT 677 ± 60 m et 2 ^{nde} MT 615 ± 87 m	Diminution de la distance totale de 8,3% entre la 1 ^{ère} et la 2 ^{nde} MT. +10% de distance totale, + 26,4% de distance >14km/h et + 35% de distance >20km/h	NR	Portent plus de ballons (ES=0,31), réalisent plus de passes (ES=0,22), cassent plus de lignes (ES=0,23) et marquent plus (ES=0,21)	NR	-44,4% de plaquages effectués par rapport aux avants	NR
Remarques	NR	Pas de différence significative sur la distance totale parcourue par MT	Ratio Temps de travail : temps de récupération identique pour les 2 groupes 1,7 : 1	NR	NR	NR	NR	NR
Références	Rienzi et coll. 1999	Granatelli et coll. 2014	Suarez-Arrones et coll. 2014	Ross et coll. 2015	Ross et coll. 2015		Suarez-Arrones et coll. 2012	

Légende : FC : fréquence cardiaque ; MT : mi-temps ; NR : non renseigné ; ES : effect size = taille de l'effet

Contrairement en rugby à XV, où un consensus est entendu pour dire que l'activité des avants est différente de celles des arrières (Lacome et coll. 2014), il n'existe pas de consensus dans la littérature en ce qui concerne les différences d'activité entre les avants et les arrières, en Rugby à 7. Ceci s'explique certainement par le fait que l'activité des joueurs est dépendante de leur niveau de jeu (expérience) autant que de leur style de jeu (technique et tactique) (Ross et coll. 2015).

4. Le statut des joueurs

Afin d'approfondir l'analyse des performances en match, les performances des joueurs ayant joué le match complet peuvent être comparées avec celles des remplaçants.

Novateurs sur ce sujet, Higham et coll. (2012) ont montré que les remplaçants jouaient en moyenne $3:01 \pm 0:44$ min:s pendant lesquelles ils parcouraient 24% de distance relative, 110% de distance entre 5 et $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et 123% de distance supérieure à $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en plus, que les joueurs ayant joué tout le match. À cela, s'ajoute aussi un plus grand nombre d'accélération à haute intensité (+ 89%) réalisées par les remplaçants, comparativement aux joueurs ayant joué tout le match. Ainsi, ils soulignent l'intérêt stratégique d'utiliser les remplaçants pour maintenir l'intensité du jeu, malgré la fatigue qui s'installe en fin de match.

Une seconde étude (Murray et coll. 2014) précise ces informations en différenciant les changements réalisés plus ou moins tôt dans le match. Basé sur le fait qu'une mi-temps dure en moyenne 8 minutes, l'étude a donc distingué les remplaçants avec plus et moins de 4 min de temps de jeu. Concernant les remplaçants avec moins de 4 min de temps de jeu, les auteurs confirment les résultats de l'étude précédente. Concernant les remplaçants avec plus de 4 min de temps de jeu, les auteurs notent que les pics de haute intensité de courses et d'accélération sont plus importants chez eux, comparativement à ceux qui ont moins de temps de jeu.

Le Rugby à 7 et ses spécificités : l'essentiel

Les données moyennes pour une équipe au cours d'un match de Rugby à 7 : 32 passes, 19 plaquages et 8 rucks.

Un score « gagnant » (> 7 points) à la mi-temps, engendre une activité plus intense en début de seconde période.

Un remplaçant a une activité plus importante et plus intense que celle d'un joueur ayant débuté le match.

Les différences d'activité au poste sont amoindries en Rugby à 7 comparées à celles en rugby à XV ; l'activité de course est « équipe-dépendante ».

Chapitre 3. Les contraintes physiques et physiologiques en Rugby à 7

Après avoir observé les spécificités du Rugby à 7, nous pouvons nous questionner sur les caractéristiques physiques et physiologiques de cette activité.

Comme nous l'avons expliqué précédemment, le Rugby à 7 est un sport collectif de nature intermittente, avec une alternance entre les temps d'effort et les temps de récupération. Cette alternance se traduit sur le terrain par une répétition d'actions souvent intenses (accélération, course à haute intensité, plaquage, ruck, etc...), entrecoupées de périodes de récupérations brèves aléatoirement réparties en fonction de l'évolution du jeu au cours du match.

1. Les caractéristiques physiques des joueurs de Rugby à 7

a. Morphologie des joueurs

Les études présentées dans le **Tableau 3**, montrent les caractéristiques de taille et de masse corporelle des joueurs de Rugby à 7.

Tableau 3 : Comparaison des profils de joueurs de Rugby à 7 en fonction des postes

Auteurs	Niveau	Nombre de sujets	Avants		Arrières		Significativité (p <)	
			Taille (cm)	Masse (kg)	Taille (cm)	Masse (kg)	Taille (cm)	Masse (kg)
Rienzi et coll. 1999	International	27	185 ± 5	94 ± 8	176 ± 5	79 ± 7	0,01	0,01
Fuller et coll. 2010	International	264	187 ± 6	98 ± 7	180 ± 6	86 ± 8	NR	NR
Higham et coll. 2013	International	27	NR	95 ± 5	NR	87 ± 7	NR	NR
Ross et coll. 2014	International	22	187 ± 4	97 ± 8	181 ± 5	88 ± 8	0,01	0,01

Légende : NR : non renseigné

D'après ce tableau, il semble y avoir des différences entre les joueurs avant et arrière dans une équipe de Rugby à 7, mais aucune des études présentées ci-dessus n'a testé le degré de significativité. Cependant, les différences semblent être beaucoup moins prononcées qu'au rugby à XV. En effet, les joueurs du XV de France présentent des avants plus lourds de 16,2 % et plus grands de 2,9 % que les joueurs arrières (données non publiées, saison 2014-2015), ce qui reste à être déterminé pour les joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7.

Comme souligné par Higham et coll. (2013), les joueurs de Rugby à 7 (avant et arrière) ont tendance à présenter des caractéristiques anthropométriques qui s'apparentent à celles des joueurs arrières de rugby à XV ($89,7 \pm 7,6$ kg, 183 ± 6 cm).

b. Qualité aérobie des joueurs

La VO_{2max} , est déterminée par deux paramètres : le débit cardiaque maximal et la différence artério-veineuse maximale. Elle facilite la capacité à répéter des efforts de haute intensité (McMahon et coll. 2002) comme ceux réalisés en sport collectif. La VMA étant la vitesse minimale pour atteindre VO_{2max} , alors cette dernière a aussi été proposée comme un indicateur pertinent de l'aptitude physique aérobie.

Aucune étude sur le Rugby à 7 masculin ne rapporte des performances en VMA. Chez des féminines de niveau international, Goodale et coll. (2016) ont démontré que les joueuses qui enregistrent les temps de jeu les plus importants, sont celles qui ont les meilleures performances sur leur test aérobie (test sur 1600 m de course) ($p = 0,09$, $ES = -0,70 \pm 0,68$). Il semble donc que la performance aérobie revête une certaine importance dans les performances des joueuses en tournoi de Rugby à 7.

Suarez et coll. (2012) et Higham et coll. (2013), rapportent des données en VO_{2max} de l'ordre de $51,6 \pm 3,7$ et $53,8 \pm 3,4$ $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ respectivement, chez leurs joueurs de Rugby à 7. Ces performances sont inférieures à d'autres évaluées en sport collectif : en effet, en hockey sur glace la VO_{2max} moyenne enregistrée peut s'élever à $56,6 \pm 3,9$ $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ (Stanula et coll. 2016) et en football, elle peut être comprise entre 50 et 75 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ (Stolen et coll. 2005). La différence entre ces données peut s'expliquer par le fait qu'elles sont normalisées à la masse corporelle. En effet, les masses corporelles moyennes des footballeurs entre 65 et 82 kg ou encore des hockeyeurs à 80 kg, sont largement inférieures à celles des rugbymen (~ 90 kg) des études précédentes. En valeur absolue en hockey sur glace, discipline réputée comme très intense, la VO_{2max} peut s'élever à 4,66 $L \cdot min^{-1}$ (Stanula et coll. 2016). Chez des joueurs de Rugby à 7, extrapolées en valeur absolue, les VO_{2max} sont alors de 4,54 et 4,83 $L \cdot min^{-1}$ (respectivement pour les articles de Suarez et coll. (2012) et Higham et coll.

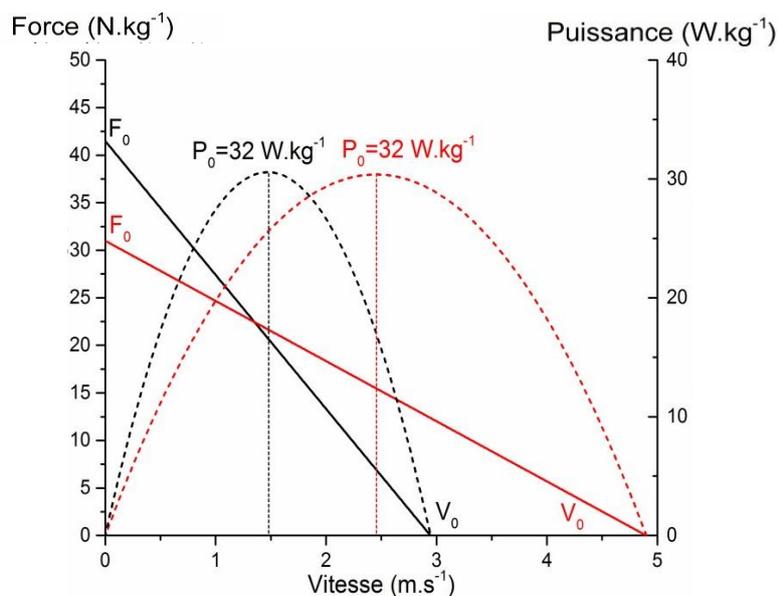
(2013). Ces performances deviennent donc du même ordre que celles évalués en hockey sur glace précédemment ce qui nous laisse penser que le Rugby à 7, est elle aussi, une discipline exigeante sur le plan aérobie.

c. Qualité de puissance des joueurs

Appréhender la performance en rugby à 7, c'est aussi s'attarder sur un des paramètres musculaires souvent déterminant de la performance en sport collectif, à savoir : la puissance. La puissance est obtenue en réalisant le produit entre la force et la vitesse et se présente sous une fonction polynomiale du second degré (en forme de U inversé). Chez l'Homme, plus ce dernier va vite, moins il est en mesure de produire de la force. Alors, pour des mouvements pluri-articulaires, il existe donc une relation linéaire décroissante entre la force et la vitesse.

Deux joueurs de rugby peuvent développer la même puissance sans pour autant posséder les mêmes niveaux de force et de vitesse (**Figure 3**). En fonction alors des profils de chacun d'eux, au cours des séquences d'entraînement, le préparateur physique devrait privilégier pour l'un la force dans l'expression de sa puissance tandis que pour l'autre, il devrait privilégier la vitesse. Pour savoir quelle qualité développer pour chaque joueur alors qu'ils développent la même puissance, le concept de l'évaluation des profils force-vitesse a été développé au travers des différents travaux de Samozino et coll. (2012, 2016).

Figure 3 : Relation force-vitesse et courbe de puissance de deux sujets (rouge et noir)



Légende : F₀ : force maximale ; V₀ : vitesse maximale ; P₀ : puissance maximale

D'après Samozino et coll. 2012

A partir de ces relations, des paramètres théoriques maximaux peuvent être déterminés : la force maximale théorique (F_0), correspondant à la force maximale que l'individu est capable de développer à vitesse nulle ; la vitesse maximale théorique (V_0), correspondant à la vitesse maximale que l'individu est capable de développer à force nulle ; ainsi que la puissance maximale théorique (P_0), qui elle, correspondant à la puissance maximale qu'un individu est capable de développer à un certain pourcentage de force et de vitesse. En comparant les joueurs, pour une même puissance maximale développée, des variations dans la pente de la relation force-vitesse sont observées. Ce sont ces variations de pentes, au regard du profil optimal du joueur, qui vont permettre au préparateur physique de définir les orientations à prendre pour le développement de la puissance. En effet, si la pente est faible, il pourra orienter son joueur vers de la force et si elle est forte, alors il l'orientera vers un travail de vitesse. Plus encore, selon l'activité dans laquelle évolue l'athlète, le profil peut permettre d'informer le préparateur physique sur les qualités de son athlète, cependant, ce dernier peut l'orienter malgré tout différemment. Par exemple en rugby, un ailier pourra être sensibilisé à un travail de force, bien que l'accent soit mis sur la vitesse au regard de son poste et des courses proche de la vitesse maximale qu'il peut avoir à réaliser, contrairement à un avant qui pourrait être lui, plus orienté sur un travail de force, en phase avec les tâches de combat qu'il aura à effectuer.

Cette recherche de développer de façon optimale la puissance en rugby à 7, est un élément fondamental de l'entraînement car le jeu nécessite de multiples déplacements courts et rapides, des changements de directions brusques et des phases de combat avec des résistances importantes (Reilly et coll. 2001).

d. Qualité de vitesse des joueurs

Etablissons un focus sur deux études comparables, qui ont mesuré des performances lors de sprints courts (en indoor) de joueurs internationaux de Rugby à 7. Elloumi et coll. (2012) enregistrent des performances moyennes sur 10 et 30 m de sprint à 1,80 et 4,28 secondes, tandis que Higham et coll. (2013) notent eux, de meilleures performances, sur les mêmes distances à 1,74 et 4,02 secondes. De plus, ils enregistrent un pic moyen de vitesse maximale enregistré à $9,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, score qui se situe entre les vitesses pics obtenues au cours d'un 400 m féminin et masculin de rang mondial (respectivement à $8,96$ et $10,12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Hanon et coll. 2009).

De ces qualités de vitesse, une large corrélation est mise en avant entre les performances de sprints courts et la capacité de franchissement (percée) en match (Ross et coll. 2015). Ceci s'explique par le fait que la performance en sprint court reflète les qualités de puissance d'un joueur et que c'est aussi celle-là qui lui permet sur le terrain, de faire la différence dans un petit espace, pour franchir ou percer une ligne défensive. Les performances sur 40 m sont, elles, corrélées avec la capacité à éviter les plaquages en Rugby à 7 (Ross et coll. 2015). L'explication ici réside dans le fait qu'en Rugby à 7, au vu des espaces disponibles plus importants qu'à XV, beaucoup de duels se jouent à distance du défenseur ; la vitesse emmagasinée en amont de ces duels, peut en effet permettre au porteur de balle d'éviter son adversaire et donc, de s'échapper d'un éventuel plaquage.

Suite à l'observation des caractéristiques physiques des joueurs de Rugby à 7, il semblerait que les profils anthropométriques inter-joueurs soient plus homogènes qu'en rugby à XV. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'en Rugby à 7, les joueurs ne se trouvent finalement que très rarement à leur poste « de base » sur le terrain ; ils doivent donc remplir des tâches presque différentes de celles qu'ils devaient avoir à réaliser en fonction de leur poste d'avant ou d'arrière. Leurs capacités à coupler des qualités importantes sur le plan aérobie autant qu'anaérobie, démontrent un potentiel physique énorme, incontournable pour performer dans cette discipline.

À ce jour, aucune étude n'a été publiée par la cellule recherche de la FFR pour déterminer le niveau de performances physiques des joueurs de l'équipe de France.

Synthèse : Caractéristiques physiques des joueurs de Rugby à 7

- . Les caractéristiques anthropométriques des joueurs sont homogènes au sein d'une même équipe en Rugby à 7.
- . Les joueurs de Rugby à 7 ont des profils similaires aux arrières à XV.
- . En Rugby à 7 féminin, une VMA élevée assure des temps de jeu importants en sélection internationale.
- . Les VO_{2max} enregistrés chez des joueurs de Rugby à 7 sont de l'ordre d'environ $4,7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.
- . Des corrélations ont été avancées : les performances de sprints courts avec la capacité de franchissement en match ; les performances sur 40 m avec la capacité à éviter les plaquages.

Qu'en est-il alors des contraintes physiques observées en match ?

2. Les exigences physiques en match de Rugby à 7

a. Analyse des performances physiques en match

La première analyse du jeu effectuée en compétition internationale via l'outil GPS, a été réalisée par Higham et coll. en 2012. D'autres auteurs s'y sont attelés et ont exprimé les paramètres de la performance de course via différents indicateurs. Ceux que nous avons choisis de présenter dans le **Tableau 4**, sont les plus communs, en l'occurrence les distances relatives parcourues, les distances réalisées à haute intensité ainsi que le nombre d'accélération réalisées par les joueurs en match de Rugby à 7.

Tableau 4 : L'analyse des performances physiques via l'outil GPS, en compétition de Rugby à 7

Auteurs	Nombre de sujets	Niveau	Nombre de matchs	Distance relative (m.min ⁻¹)	Distance relative à haute intensité (m.min ⁻¹)	Nombre d'accélération (n.min ⁻¹)
Higham et coll. 2012	19	International	27	120 ± 17	12,7 ± 6,2 (>6m.s ⁻¹)	1,6 ± 0,7 (>2m.s ⁻²)
Suarez-Arrones et coll. 2012	7	National	5	113 ± 10	15,5 ± 8,7 (>5m.s ⁻¹)	NR
Granatelli et coll. 2013	9	National et International	15	87 ± 8	6,9 ± NR (>4m.s ⁻¹)	NR
Suarez-Arrones et coll. 2013	10	National	23	102 ± 10	14,4 ± 5,3 (>5m.s ⁻¹)	NR
Higham et coll. 2013	42	International	22	96 ± 13	17,7 ± 11,4 (>5m.s ⁻¹)	3,8 ± 1,1 (>1m.s ⁻²)
Murray et coll. 2014	17	International	24	86 ± 19	19,2 ± 7,6 (>4,17m.s ⁻¹)	1,1 ± 0,6 (>2,78m.s ⁻²)
Ross et coll. 2015	27	International	54	96 ± 19	16,7 ± 7,8 (>5m.s ⁻¹)	NR
Furlan et coll. 2015	12	International	21	94 ± 10	27 ± 8 (>4,21m.s ⁻¹)	1,1 ± 0,6 (>3,1m.s ⁻²)

Légende : NR : non renseigné

Au travers de ces données, nous pouvons aisément observer que les choix des seuils de haute intensité pour la course, comme ceux des seuils d'accélération, sont tous différents d'une étude à une autre. La différence de seuil pour les accélérations est tellement importante ici, qu'elle peut aller du simple au triple. Ceci s'explique souvent par l'incapacité de certains fournisseurs GPS, à mettre à disposition des utilisateurs l'intégralité des données brutes. De fait, les fournisseurs proposent seulement des données qu'ils ont choisies, à partir d'échelles préétablies.

Pour autant, d'après ces données, les joueurs de Rugby à 7 parcourent en moyenne par match et par minute, entre 86 et 120 mètres dont environ 16 mètres à haute intensité. En extrapolant, un joueur parcourt donc en moyenne par match 1500 m ; à raison de six matchs par tournoi, un joueur titulaire qui jouerait tous les matchs pourrait alors parcourir jusqu'à 9000 m au cours d'un tournoi. C'est finalement une distance totale parcourue supérieure à celle parcourue au cours d'un match de 80 minutes en rugby à XV (en moyenne pour les avants 7006 ± 356 m et pour les arrières 7944 ± 659 m (Lacome et coll. 2014). Pour autant, notre intérêt ici n'est pas d'observer seulement le volume global de course, mais aussi d'observer les aspects qualitatifs des différentes courses effectuées pendant le jeu.

b. Observation des répétitions d'actions de haute intensité en match

Le concept de répétitions d'actions de haute intensité apparaît dès les années 90, lorsque Dawson et coll. (1997), ont démontré que la capacité à réaliser des efforts brefs et intenses avec de courtes phases de récupération, était une qualité incontournable en sport collectif.

La première étude ayant mis en lumière la notion de répétitions de sprints, basée sur au moins trois répétitions séparées de moins de 21 secondes, avait été réalisée en hockey sur gazon (en 2004). Filmées et codées par le biais d'une analyse notationnelle, les séquences de sprints avaient été quantifiées au nombre de 17, avec en moyenne $4,2 \pm 1,3$ sprints séparés en moyenne de $14,9 \pm 5,5$ secondes, dans l'intégralité d'un match (match de 71 minutes) sur l'ensemble de l'équipe (Spencer et coll. 2004). La limite de cette étude résidait dans le fait qu'à cette époque, les « *sports scientist* » n'étaient pas dotés du matériel que l'on utilise aujourd'hui comme les GPS en l'occurrence. De fait, la quantification des sprints était subjective. A la suite de cette étude qui avait pour autant permis de donner la première définition d'une « répétition » de sprints en sports collectifs, plusieurs auteurs se sont lancés dans la description des répétitions de sprints dans différentes disciplines. En football par

exemple, contrairement aux idées reçues, les travaux de Carling et coll. (2012) ont démontré que les joueurs effectués $1,1 \pm 1,1$ séquence de répétition de sprints par match.

C'est en rugby à XV, qu'une étude a pris pour support cette définition et y a intégré pour la première fois (en 2011) les actions de combat (Austin et coll. 2011). Ces auteurs ont fait ce choix car les actions de combat, bien que différentes des activités de sprint, sont nombreuses en rugby et leur intensité est telle qu'on ne peut en faire abstraction. C'est ainsi qu'ils avaient démontré que la simple analyse de répétitions de sprints n'était plus suffisante en rugby, car les actions de combat y étaient prédominantes. Gabbett et coll. (2012) qui avaient collaboré avec les auteurs précédents, utilisèrent pour la première fois au travers d'une analyse en rugby à XIII, la notion de « *RHIE* » (de l'anglais : « *repeated high intensity exercise* »), pour caractériser ces séquences d'enchaînement d'actions de haute intensité, incluant les tâches de combat. Ils estimaient que 14 séquences de *RHIE* étaient réalisées en moyenne, par joueur et par match en rugby à XIII. La seule étude sur le Rugby à 7 qui s'est consacrée à l'analyse de l'enchaînement d'actions de haute intensité, ne s'est centrée uniquement que sur les répétitions de sprints (Suarez-Arrones et coll. 2015). Au cours de deux tournois internationaux et au travers de l'observation des joueurs ayant réalisé l'intégralité des matchs, ces auteurs sont les seuls à avoir montré qu'un joueur de Rugby à 7, pouvait réaliser différents types d'enchaînement de répétitions de courses à haute intensité, sous-nommés par :

- RSS (répétition de séquences de sprints)

(enchaînement minimum de deux sprints supérieurs à 1 seconde, séparés de moins de 30 secondes ($RSS_{\leq 30s}$) et/ou de 31 à 60 secondes (RSS_{31-60s}) de récupération)

- RSE (exercice de répétitions de sprints)

(enchaînement minimum de trois sprints, séparés de moins de 20 secondes de récupération)

- RAS (répétitions de séquences d'accélération)

(enchaînement minimum de deux accélérations maximales, séparées de moins de 30 secondes ($RAS_{\leq 30s}$) et/ou de 31 à 60 secondes (RAS_{31-60s}) de récupération)

- RAE (exercice de répétitions d'accélération)

(enchaînement minimum de trois accélérations, séparées de moins de 20 secondes de récupération)

Ici, ces auteurs considéraient comme un sprint une course supérieure à 20 km.h^{-1} et une accélération maximale lorsque celle-ci était supérieure à $2,78 \text{ m.s}^{-2}$. La quantification en moyenne par match, de ces répétitions d'actions est présentée dans le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Comparaison entre mi-temps, de l'activité de répétition de courses de haute intensité réalisée par un joueur, en match international de Rugby à 7. Extrait de "Repeated-high intensity running activity and internal training load of elite rugby sevens players during international matches a comparison between halves" Suarez-Arrones et coll.2015.

Type de répétition de course	Première mi-temps (nombre)	Deuxième mi-temps (nombre)	Différence standardisée (Intervalle de confiance $\pm 90\%$)
RSS	2,1 \pm 2,0	1,2 \pm 1,1	-0,64 \pm 0,56
RSS $_{\leq 30s}$	1,1 \pm 0,9	0,8 \pm 0,7	-0,37 \pm 0,75
RSS $_{31-60s}$	1,0 \pm 1,6	0,4 \pm 0,7	-1,23 \pm 0,38
RSE	0,3 \pm 0,5	0,1 \pm 0,4	-0,29 \pm 0,42
RAS	5,0 \pm 2,3	2,8 \pm 2,4	-1,06 \pm 0,59
RAS $_{\leq 30s}$	3,1 \pm 1,6	2,3 \pm 2,1	-0,48 \pm 0,45
RAS $_{31-60s}$	1,7 \pm 1,5	0,5 \pm 0,6	-1,16 \pm 0,50
RAE	0,8 \pm 0,9	0,8 \pm 1,2	0,00 \pm 0,44

Légende : RSS : répétition de séquences de sprints ; RSS $_{\leq 30s}$: répétition de séquences de sprints avec moins de 30 secondes de récupération ; RSS $_{31-60s}$: répétition de séquences de sprints avec 31 à 60 secondes de récupération ; RSE : exercice de répétitions de sprints ; RAS : répétitions de séquences d'accélération ; RAS $_{\leq 30s}$: répétition de séquences d'accélération avec moins de 30 secondes de récupération ; RAS $_{31-60s}$: répétition de séquences d'accélération avec 31 à 60 secondes de récupération ; RAE : exercice de répétitions d'accélération.

D'après une étude de Suarez-Arrones et coll. (2015)

D'après cette étude, un joueur de Rugby à 7 peut donc avoir à enchaîner deux types de répétitions de courses de haute intensité : trois RSS et huit RAS par match, l'équivalent d'une RSS toutes les 280 secondes et d'une RAS toutes les 105 secondes. De plus, les auteurs notent une diminution de la capacité à réitérer les RSS et les RAS, de la première à la seconde mi-temps, ce qui laisse transparaître une diminution de performance au fil du match. Ce qui est discuté ici, est le seuil de vitesse choisi pour qualifier les courses de sprint. En l'occurrence, ce seuil à 20 km.h⁻¹, pour un joueur ayant par exemple une VMA à 17 km.h⁻¹, devient pour lui un seuil équivalent à $\sim 115\%$ de sa VMA ; seuil qui ne caractérise pas vraiment une course en sprint (comme l'ont précisé Haugen et coll. (2014) en football). Pour autant et malgré ce choix discuté, les résultats laissent transparaître un nombre important d'actions de courses de haute intensité qu'un joueur doit réaliser en match avec peu de récupération. Il ressort donc que les joueurs se déplacent à des intensités élevées au cours

d'un match de Rugby à 7, mais que la classification actuelle des seuils de course n'est pas assez précise pour déterminer individuellement les intensités atteintes pendant un match et ultérieurement décliner des séquences spécifiques d'entraînement.

Pour développer la capacité de répétition de course de haute intensité, Bishop et coll. (2011) mettent en avant qu'un seul type d'entraînement n'est pas suffisant. Selon eux, les deux clefs seraient de :

(1) développer la performance sur un sprint simple, au travers d'entraînement spécifique en sprint, travail de force et puissance en musculation ainsi que du travail à très haute intensité ($> VO_{2max}$) du type 30 secondes « all-out » séparées de 10 minutes de récupération.

(2) développer la capacité à récupérer entre les sprints par des entraînements d'intensité intermédiaire (80-90% de VO_{2max}) de type intermittent, avec des temps de travail de 2 minutes et des temps de récupération de seulement 1 minute.

Est-ce qu'entraîner cette capacité à répéter des sprints est suffisant pour préparer les joueurs de Rugby à 7 ? A la lumière des études menées par Gabbett (2012, 2013, 2014) en rugby à XIII, il nous apparait important d'observer non seulement la répétition de courses de haute intensité, mais aussi la notion de *RHIE* explicitée précédemment. Cette notion nous permettrait d'inclure les actions de combat, qui en rugby, font partie intégrante de l'activité. Nous pouvons donc nous questionner sur le devenir de ces répétitions de courses de haute intensité, si les actions de combat étaient incluses dans les analyses. Or, étonnement en Rugby à 7, ce type d'analyse n'a pas encore été réalisé.

Synthèse : Les exigences physiques en Rugby à 7

En moyenne, pour un joueur ayant participé à l'intégralité d'un match :

- . Distance relative parcourue : 86 à 120 m.min⁻¹.
- . Distance totale parcourue : 1500 m.
- . Une séquence de sprints toutes les 280 secondes.
- . Une séquence d'accélération toutes les 105 secondes.

3. Les conséquences sur le plan énergétique

L'exposé précédent nous apprend que les joueurs de Rugby à 7 doivent donc coupler des qualités aérobies et anaérobies importantes, qui font que l'on peut alors les considérer comme de véritables « décathloniens » du rugby. Par ailleurs, tout au long des tournois, incluant six matchs à jouer en seulement deux jours, les joueurs doivent être capables d'enchaîner des tâches techniques et de combat, tout en maintenant un rythme de course élevé. Les réponses physiologiques suite à l'enchaînement de ces différents exercices méritent alors toute notre attention.

a. La première source d'énergie : la phosphocréatine

En Rugby à 7, les phases sprintées comme les moments luttes nécessitent une capacité à produire de façon instantanée de haut niveau de force et de puissance. Ceci est rendu possible grâce à la phosphocréatine (PCr). Un stock de réserve immédiatement disponible, avoisinant les $80 \text{ mmol.kg}^{-1}.\text{ms}$ (Gaitanos et coll. 1993 ; Bangsbo et coll. 2001), représente la première réserve pour fournir de l'ATP. Elle va permettre de répondre immédiatement aux besoins du muscle au tout début des exercices dits de haute intensité. Pour d'avantage de clarté et de précision, au cours des années 2000, Shulman et Rothman (2001), ont pu mettre en évidence, pour la première fois de manière non-invasive, trois étapes : 1) dans les 15 premières millisecondes de la contraction musculaire, l'hydrolyse de la PCr fournit de l'ATP aux têtes de myosine, en quantité beaucoup plus importante que l'utilisation du glucose plasmatique ; 2) entre 15 et 100 msec, la glycolyse et la glycolyse fournissent de l'ATP, via la phosphorylation oxydative, pour resynthétiser la PCr ; 3) pendant la phase de relaxation du muscle, l'oxydation du lactate libère de l'ATP.

Pendant les contractions musculaires, la PCr est dégradée pour former de l'ATP nécessaire au niveau des protéines contractiles ($\text{PCr} + \text{ADP} \Leftrightarrow \text{Créatine (Cr)} + \text{ATP}$). La Cr libérée au niveau des protéines contractiles diffuse alors jusqu'aux mitochondries des cellules musculaires qui consomment de l'oxygène et produisent de l'ATP par la respiration mitochondriale. La Cr profite de cette production d'ATP, permettant ainsi la réaction en sens inverse ($\text{Cr} + \text{ATP} \Leftrightarrow \text{PCr} + \text{ADP}$). L'ATP nouvellement formé par les mitochondries est ainsi aussitôt associé à la Cr pour reformer de la PCr, qui va en retour diffuser jusqu'aux protéines contractiles et permettre la reconstitution des stocks de PCr. Le métabolisme aérobie permet donc lui aussi de régénérer la PCr au niveau des protéines contractiles, et ce tout au long de l'exercice en réponse à la demande. La Cr et la PCr jouent ainsi un rôle de navette

entre la mitochondrie et les protéines contractiles au cours de l'exercice. L'utilisation de la PCr n'est donc pas restreinte à quelques secondes, mais perdure tout au long de l'exercice grâce à sa régénération par le métabolisme aérobie (bien qu'elle représente une part de moins en moins importante). Après un exercice intense, la resynthèse de la PCr qui présente une composante lente et une composante rapide, est décrite par une double exponentielle. Le demi-temps de resynthèse de la PCr est compris entre 21 et 57 secondes (Harris et coll. 1976 ; Bogdanis et coll. 1996). L'étude de Gaitanos et coll. (1993) sur 10 sprints de 6 secondes (séparés de 30 secondes), montrent un déclin de la puissance moyenne développée et l'explique par une resynthèse de la PCr qui est incomplète au cours des 30 secondes de récupération. Par conséquent, au cours de protocoles d'efforts répétés (spécifiques en sport collectif et en particulier en Rugby à 7), dans lesquels la durée de récupération est trop courte pour une resynthèse complète de la PCr (< 30 secondes), les taux de déplétion et de réplétion de PCr devraient constituer un paramètre déterminant de la capacité à répéter des sprints puisqu'ils permettent le maintien ou non de la performance

À notre connaissance, la [PCr] n'ayant pas été observée à l'issue d'un sprint couru très court comme nous pouvons en voir souvent en Rugby à 7, nous nous sommes alors intéressés à une étude ayant déterminé la [PCr] après un sprint de 6 secondes sur ergocycle. Il a été démontré à l'aide d'une biopsie musculaire sur quadriceps, que les [PCr] diminuent de 57% de suite après la première répétition (Gaitanos et coll. 1993). Les actions en Rugby à 7 pouvant durer plus de 6 secondes, nous avons alors regardé ce qui se passe pendant un exercice plus long.

En effet, en Rugby à 7, il est fréquent d'observer des phases de jeu longues et intenses, s'achevant par exemple, par la traversée du terrain de bout en bout par un joueur. De fait, nous nous sommes intéressés aux exercices d'intensité maximale de plus longue durée. Trente secondes est de loin, la durée d'exercice la plus étudiée. L'utilisation de la PCr dans ces cas-là, atteint son pic dans les 2 premières secondes de l'exercice et semble réduite de 15% après 3 secondes de contraction et de 50% à partir de la 10^{ème} seconde (Casey et coll. 1996). Dans les 10 dernières secondes de l'exercice, la contribution de la PCr équivaut seulement à 2% des besoins énergétiques. Il est donc probable que la rapide déplétion des stocks de PCr au début de la contraction musculaire soit la conséquence de sa rapide utilisation (60 à 80% du contenu total initial) au niveau des ponts acto-myosines. De ce fait, quand un exercice à intensité maximale est maintenu plus de 20 secondes, les stocks cellulaires de PCr sont presque totalement épuisés et l'on peut faire l'hypothèse que les besoins en ATP induits par ce débit d'hydrolyse de PCr ne peuvent entièrement être couverts par la production mitochondriale

(Soderlund et coll. 1992). Que se passe-t-il alors, lorsque comme en match de Rugby à 7 et dans d'autres sports collectifs, les exercices longs et intenses s'enchaînent ?

A la suite de répétition de sprints (mise en lumière en Rugby à 7 par l'étude de Suarez et coll. 2015), pendant la récupération, la VO_2 reste élevée afin de rétablir l'homéostasie, au travers : de la resynthèse de la PCr, de la réplétion des réserves d'oxygène fixées par la myoglobine, du métabolisme du lactate, et de la régulation du Pi accumulé dans le muscle (Bahr et coll. 1992). Un déclin de performance au fil des répétitions d'exercices apparaît au travers d'une perte de vitesse maximale (sprint couru) ou d'une perte de puissance (sprint sur vélo) (Girard et coll. 2011). La nature et le temps de la récupération entre les sprints ont un impact direct sur cette diminution de performance. En effet, la nature active ou passive de la récupération influence la performance ; au cours d'une répétition de 6 sprints de 4 secondes séparés de 21 secondes sur ergocycle, une récupération active (à $\sim 32\% VO_{2max}$) engendre une plus grande perte de puissance (-1,8%, $p < 0,01$) ainsi qu'une diminution plus importante de PCr en fin de test ($\sim 12,5\%$, $p < 0,06$) comparée à une récupération passive (Spencer et coll. 2006). La durée de la récupération a elle aussi son importance ; au cours d'une répétition de 10 sprints de 10 secondes sur ergocycle, la puissance pic développée pour une force optimale est réduite de 28,5% ($p < 0,001$) avec une récupération de 30 secondes contre seulement 11,3% ($p < 0,01$) avec une minute (Ratel et coll. 2002). Lorsque des exercices intenses sont répétés et séparés de brèves périodes de récupération, les débits d'hydrolyse de PCr diminuent progressivement et substantiellement au cours des répétitions (Dawson et coll. 1997). Ainsi, Mendez-Villanueva et coll. (2012), ont montré qu'au cours de 10 sprints de 6 secondes sur ergocycle, la récupération de la capacité à produire un travail est corrélée avec la resynthèse de la PCr ($r = 0,79$, $p < 0,05$) ; alors, ce résultat semble directement prouver qu'il existe une relation forte entre la resynthèse de PCr et la performance en sprints répétés.

Tous ces résultats doivent nous interpeller lorsque l'on souhaite réaliser une analyse précise de ce qui se passe sur le plan physiologique en sport collectif et ici en l'occurrence en Rugby à 7. Pour autant, il reste difficile de postuler sur des liens directs entre ces résultats en conditions non-écologique (de laboratoire) et ceux que l'on pourrait observer en condition écologique, c'est-à-dire à l'issue d'un match de Rugby à 7. De plus, ce genre de paramètre étant difficile à mesurer rapidement au bord d'un terrain, d'autres indicateurs comme la concentration de lactate [La] (autrement appelée lactatémie), ont fait l'objet d'étude écologique intéressante.

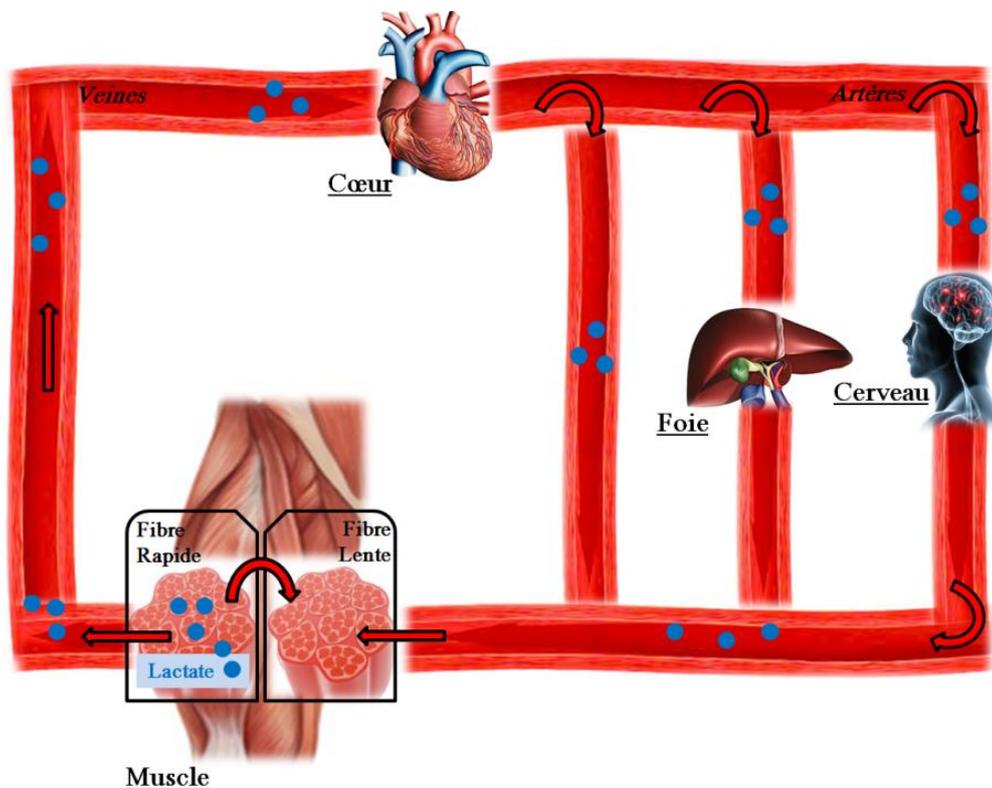
b. Le métabolisme du lactate

Avant d'exposer les travaux relatifs au métabolisme du lactate et d'appréhender les réponses lactiques en Rugby à 7, rappelons le fonctionnement de ce métabolisme. La [La] est la résultante à un instant t , entre l'apparition et la disparition du lactate dans le sang. Dans des conditions d'exercices maintenus à de faibles intensités (filère aérobie majoritairement sollicitée), comme par exemple au cours de phase de course de remplacement en Rugby à 7, la production de lactate est minime au sein des tissus. En effet, le pyruvate entre dans la mitochondrie pour y être complètement oxydé au sein du cycle de Krebs afin de produire de l'ATP. Lors d'exercices intenses (filère anaérobie majoritairement sollicitée) couramment observés en Rugby à 7, le débit glycolytique est fortement sollicité et devient supérieur aux capacités de métabolisation du lactate en pyruvate par l'organisme. La dégradation du glucose par la glycolyse étant ainsi plus importante que l'oxydation du pyruvate par les mitochondries, le pyruvate est converti en lactate, augmentant ainsi la production de lactate. Le lactate s'accumule dans le muscle et peut alors être extrudé de la fibre musculaire vers le compartiment sanguin ou les fibres musculaires lentes avoisinantes pour y être oxydés.

Pour ce faire, il existe un système de transporteurs protéiques spécifiques insérés dans le sarcolemme des fibres musculaires squelettiques, qui assure le transport du lactate et d'un proton. Différentes isoformes « monocarboxylate transporters » (MCT) existent. Dans le muscle strié squelettique, les isoformes 1 et 4 sont les principales isoformes des MCT exprimées dans les muscles squelettiques chez l'Homme et assurent donc la plus grande partie du transport de lactate et du proton à l'exercice (Juel et coll. 1996). Les isoformes de MCT1 sont particulièrement exprimées dans les fibres musculaires lentes (type I), alors que l'expression des MCT4 est ubiquitaire (Pilegaard et coll. 1995). Le lactate est ainsi transporté du muscle vers le sang et du sang vers le muscle, à la fois au cours de la récupération mais aussi au cours de l'exercice. Le passage du lactate au travers du sarcolemme nécessite un délai par rapport à sa production. C'est pourquoi, les [La] musculaires sont souvent plus importantes à l'exercice que les [La] sanguines (sans qu'aucune corrélation ne puisse être établie entre ces valeurs ($p > 0,05$) pour les exercices intermittents) (Krustrup et coll. 2006). Ainsi, on observe généralement un accroissement de la lactatémie sanguine post-exercice lorsque les muscles rapides libèrent le lactate dans le sang pour qu'il soit ensuite recapté par les fibres lentes. C'est sur ce principe de navette du lactate (« *cell-to-cell lactate shuttle* ») défini par Brooks (1986) que l'on peut mieux comprendre la capacité des tissus à échanger du lactate ce qui permet sa mise à disposition rapide pour les fibres musculaires lentes à 80% et pour d'autres tissus tels que le cœur, le foie et le cerveau (Brooks, 2009).

Aussi, au cours d'exercices intenses et répétés, comme c'est peut être le cas au cours d'un match de Rugby à 7, le lactate peut devenir un substrat énergétique qui peut être transporté et oxydé, notamment au niveau musculaire. Il peut être également consommé par les muscles au repos mais aussi par les muscles actifs (Stanley et coll. 1986). Pour résumer, le lactate peut être produit majoritairement par les fibres rapides et capté par les fibres lentes avoisinantes d'un même muscle, qui vont ensuite le métaboliser ; il est retransformé en pyruvate au niveau des fibres et sera ensuite métabolisé au sein des mitochondries pour fournir de l'énergie au cours d'exercices intenses et répétés. Par ailleurs, ce lactate peut aussi être transaminé, c'est-à-dire transformé en acide-aminé et pourra servir à reconstituer les réserves en glycogène pendant la récupération par le mécanisme de la néoglucogenèse. Si le lactate n'est pas re-capté, il est alors transporté à l'extérieur du muscle, provoquant ainsi une augmentation de la lactatémie sanguine. Il pourra par exemple être capté et utilisé par le cœur comme substrat énergétique. Son utilisation/élimination est un processus très efficace qui aboutit à une demi-vie normale du lactate inférieure à 10 minutes. La **Figure 4**, illustre la navette extracellulaire du lactate, selon le modèle de Brooks (1986).

Figure 4 : Illustration de la navette extracellulaire du lactate (Fibre rapide, Fibre lente)



Légende : *Fibre rapide : fibre musculaire de type II ; Fibre lente : fibre musculaire de type I*

D'après Brooks, 1986.

Le Rugby à 7 étant constitué de différents types d'actions, il nous paraît important d'appréhender les réponses du métabolisme lactique, à l'issue de différents types d'exercices, du plus court qui pourrait ressembler à des sprints courts pour franchir une ligne défensive jusqu'au plus long, à l'image d'une chevauchée d'un joueur ailier qui pourrait traverser le terrain pour marquer.

Après un sprint de 6 secondes sur ergocycle, la [La] sanguine augmente seulement de $1,3 \text{ mmol.L}^{-1}$ comparé à la concentration au repos (Gaitanos et coll. 1993). Post-40m, 60m et 100m de sprint, chez des athlètes nationaux spécialistes du 100m, elle augmente respectivement à $4,4 \pm 0,4$, $5,5 \pm 0,7$, $8,0 \pm 0,8 \text{ mmol.L}^{-1}$ (Hirvonen et coll. 1987). Sur un exercice un peu plus long, post-300m chez des athlètes entraînés, les [La] sanguines peuvent s'élever jusqu'à $16,8 \pm 1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ à la 7^{ème} minute de récupération (Hanon et coll. 2010) et être même supérieure à 20 mmol.L^{-1} chez des athlètes élites (Hanon, données personnelles), ce qui témoigne d'une forte sollicitation du système anaérobie. A cela, s'ajoute un effondrement des valeurs de pH sanguin post-exercice de $7,40 \pm 0,04$ jusqu'à $7,16 \pm 0,05$, comme celles des concentrations de bicarbonate sanguines ($[\text{HCO}_3^-]$) qui peuvent passer de $20,7 \pm 2,3 \text{ mmol.L}^{-1}$ à $10,0 \pm 2,2 \text{ mmol.L}^{-1}$.

Etre capable de répéter des actions de haute intensité en Rugby à 7 étant une composante essentielle de l'activité, nous nous sommes également intéressés aux réponses lactiques disponibles à ce sujet dans la littérature. En comparant 15 répétitions de 40 m de sprint avec des temps de récupération variant de 30, 60 et jusqu'à 120 secondes, il a été montré que les [La] sanguines à $17,2 \pm 0,7 \text{ mmol.L}^{-1}$ sont significativement supérieures ($p < 0,05$) lorsque les sujets ont seulement 30 secondes de récupération [vs. $12,1 \pm 1,3 \text{ mmol.L}^{-1}$ (120 secondes) et $13,9 \pm 1,2 \text{ mmol.L}^{-1}$ (pour 60 secondes)]. Pour les trois timings différents de récupération, les [La] sanguines sont identiques jusqu'au 6^{ème} sprint, cependant, des diminutions différentes de performance sont enregistrées. La durée de récupération entre des sprints répétés a donc ici aussi son importance (Balsom et coll. 1992a). Si cette durée de récupération impacte sur les [La], il en va de même avec le type de récupération car il a été démontré qu'une récupération active permet une plus grande diminution des [La] musculaires ($p=0,14$, ES = 1), comparée à une récupération passive (Spencer et coll. 2005). Alors qu'en est-il en condition écologique ?

Dans un sport collectif comme le football, les joueurs peuvent présenter des moyennes de [La] sanguines pic à $7,9 \pm 0,7 \text{ mmol.L}^{-1}$ (range : $4,2-11,9 \text{ mmol.L}^{-1}$) au cours du jeu. Lors d'analyse par biopsie musculaire, il a été observé des valeurs de pH musculaire inférieures à 7 ($6,96 \pm 0,03$). Dans cette étude, les $[\text{HCO}_3^-]$ n'ont pas été répertoriées (Krustrup et coll. 2006).

En supposant que les actions s'enchaînent plus en Rugby à 7 qu'en football, nous avons cherché des données dans des disciplines dans lesquelles les actions se répètent. En boxe par exemple, là où les frappes s'enchaînent au cours des trois rounds de trois minutes (format olympique hommes), une étude a démontré que certains boxeurs de niveau international, pouvaient atteindre des [La] sanguines à $17,0 \pm 2,3 \text{ mmol.L}^{-1}$ en fin de combat (Hanon et coll. 2015). Cette étude s'est aussi intéressée aux diminutions des valeurs de pH sanguin jusqu'à $7,19 \pm 0,80$, comme celles des $[\text{HCO}_3^-]$ sanguines jusqu'à $12,0 \pm 1,9 \text{ mmol.L}^{-1}$. Granatelli et coll. 2014 sont les seuls auteurs à s'être intéressés aux [La] sanguines en Rugby à 7. Au cours d'un tournoi (hors circuit continental et mondial), ils ont mesuré sur 4 joueurs, 2 minutes après la première et la seconde période, des [La] sanguines respectivement de $8,7 \pm 1,7$ et $11,2 \pm 1,4 \text{ mmol.L}^{-1}$. Une différence significative ($p = 0,017$) est soulignée entre la [La] sanguine en fin de première période et celle en fin de match. Aucune différence significative ($p = 0,19$) entre les joueurs avants et les joueurs arrières n'était à noter. Ces valeurs sont plus importantes que celles rapportés en rugby à XV dans la revue de littérature de Duthie et coll. en 2003, avec des [La] sanguines post-match de $2,8 \pm 1,6 \text{ mmol.L}^{-1}$ chez des internationaux. Ici aussi, les données concernant le pH et les $[\text{HCO}_3^-]$ n'avaient pas été étudiées.

La [La] représente le reflet de l'activité qui a été réalisée avant le prélèvement en rugby (Deutsch et coll. 1998). Ainsi, avec un échantillon de joueurs plus important et un niveau de jeu plus élevé engendrant une sollicitation énergétique plus importante, nous pouvons nous demander si les [La] sanguines post-match à $\sim 11 \text{ mmol.L}^{-1}$, issues de la seule étude sur le Rugby à 7, étaient suffisamment représentatives du Rugby à 7 au plus haut niveau. Alors, quels seraient les sollicitations anaérobies maximales auxquelles les joueurs pourraient être confrontés ? L'homéostasie des joueurs serait-elle perturbée ? Ici aussi, la littérature actuelle n'a pas répondu à ces questions.

Synthèse : Les conséquences sur le plan énergétique

- . Les taux de déplétion et de réplétion de PCr constituent un paramètre déterminant au cours de la répétition de sprints.
- . On observe généralement un accroissement de la lactatémie sanguine post-exercice lorsque les muscles libèrent le lactate dans le sang.
- . Une différence significative est soulignée entre la [La] en fin de première période ($8,7 \pm 1,7 \text{ mmol.L}^{-1}$) et en fin de match ($11,2 \pm 1,4 \text{ mmol.L}^{-1}$) en Rugby à 7.

Les contraintes physiques et physiologiques en Rugby à 7 : l'essentiel

✓ Des contraintes physiques

Les performances sur le plan aérobie semblent être discriminantes en Rugby à 7.

Les qualités de vitesse des joueurs se corrélaient avec des capacités de franchissement et d'évitement.

La faculté à se déplacer « intensément » au cours d'un tournoi de Rugby à 7, au travers des 6 matchs d' ~ 1,5 kms chacun, rythmés jusqu'à 120 m effectués par minute, tout en réalisant fréquemment des répétitions de sprints et/ou d'accélération, semble aussi être un facteur de performance.

✓ Des contraintes physiologiques

Les filières aérobie et anaérobie seraient mobilisées de façon quasi-maximale pour répondre aux besoins énergétiques des matchs.

Les concentrations de lactate sont supposées importantes.

L'équilibre acido-basique serait certainement perturbé.

III. OBJECTIFS DE THESE

Extrêmement populaire dans les Îles Fidji ou encore en Nouvelle Zélande, **le Rugby à 7 est une discipline émergente** dans l'hexagone et au niveau international, qui tend donc à prendre de plus en plus de place dans le paysage des sports collectifs et ouvre ainsi un champ des possibles en terme d'investigations scientifiques.

A ce jour, les connaissances déclinées dans **la revue de littérature** permettent de mieux comprendre comment sont analysés les sports collectifs ; elles ont mis en lumière les exigences physiques connues du Rugby à 7 ; puis, nous ont permis une première approche concernant l'analyse des réponses métaboliques qui découlent de cette pratique.

Cependant, Higham et coll. (2016) ont mis en évidence qu'il était **difficile** à l'entraînement, **de réitérer les performances** réalisées au cours **d'un match** de Rugby à 7. En effet, ces auteurs ont démontré que pendant les entraînements, les distances relatives parcourues étaient plus faibles, que les distances parcourues à haute intensité ($> 6m.s^{-1}$) n'étaient pas assez importantes et que le nombre total d'accélération était insuffisant. Cette réflexion fait émerger l'hypothèse d'un manque d'analyses précises à même d'apporter aux entraîneurs, de quoi créer des entraînements capables de reproduire les exigences d'un match. Alors, en s'appuyant sur l'ensemble des connaissances publiées sur le Rugby à 7, ce travail de thèse a tenté de mettre en exergue certaines particularités qui impactent la performance dans cette discipline. Pour cela, ce travail a donc fait un focus sur trois paramètres qui nous paraissent essentiels dans la production d'une performance en match de Rugby à 7.

Le premier point d'ancrage était celui de l'impact du contexte sur la performance. La littérature actuelle sur cette discipline nous a renseigné sur l'impact de variables contextuelles sur les performances physiques des joueurs. Cependant, aucune information ne relate de l'impact que pourrait avoir ces mêmes variables, sur les performances techniques des joueurs. **Deuxièmement**, ce sont les réponses physiologiques qui ont attiré notre attention : seules des concentrations de lactate post-match, observées sur quatre joueurs non internationaux, étaient disponibles dans la littérature. Or, l'exigence en match semble telle, que nous supposons une forte activité des différentes filières énergétiques, couplée à des perturbations de l'homéostasie fortes, qui semblent intéressantes à explorer. **Troisième et dernier point**, à la lumière des analyses des performances physiques dans certains sport collectif comme le football ou encore le rugby à XIII, nous avons estimé que celles réalisées en Rugby à 7 ne répondaient pas aux attentes des entraîneurs en matière d'analyse de l'activité et qu'il fallait donc aller plus loin dans l'observation des performances des joueurs.

Autour de l'**exploration** des caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs de **l'équipe de France de Rugby à 7**, avec en parallèle l'observation, la quantification et l'analyse de leurs performances au cours de plusieurs tournois internationaux sur plusieurs saisons, des questions se posent alors :

- (1) Quels sont les facteurs qui pourraient avoir un impact sur les performances physiques et sur les tâches techniques réalisées par les joueurs, au cours d'un match de Rugby à 7 ?
- (2) Quelles sont les réponses physiologiques individuelles des joueurs de haut-niveau suite aux sollicitations extrêmes d'un match de Rugby à 7 au cours d'un tournoi international ? Comment l'homéostasie des joueurs est-elle perturbée ?
- (3) Les plus simples analyses des distances parcourues et des vitesses atteintes ne suffisent plus aujourd'hui. L'analyse des actions de haute intensité nous semble alors incontournable pour décrire la discipline ; l'intégration des tâches de combat dans ces actions de haute intensité, l'est tout autant. De fait, nous nous demandons comment ces différentes tâches de haute intensité s'enchaînent en match ? La notion de répétitions d'actions intenses existe-t-elle ? Quelle est la répartition de ces efforts et quels sont les temps de récupération disponibles ? Malgré les temps réduits d'un match de Rugby à 7, y aurait-il des diminutions de performance d'une mi-temps à une autre ?

Pour répondre à ces questions et mieux comprendre la discipline, une démarche par étapes est nécessaire :

- **la première étape** fera un focus sur l'impact de différentes variables contextuelles telles que le niveau de l'adversaire et le score du match, sur les performances physiques et techniques (étude A) qui paraît inévitable pour être en possession d'un maximum d'éléments, afin d'analyser au mieux, la performance en compétition ;
- **la deuxième étape** observera les réponses physiologiques des joueurs au cours d'un tournoi international (étude B), au travers des concentrations de lactate, mais aussi des valeurs de pH et des concentrations de bicarbonate qui pourront nous éclairer sur l'homéostasie des joueurs. Ceci permettra de caractériser précisément, les réponses métaboliques de joueur de Rugby à 7 de haut niveau en cours de compétition ;
- **la troisième et dernière étape** consistera à réaliser une caractérisation des efforts de haute intensité, au cours de la performance en match de Rugby à 7 (étude C). Au-delà de mieux décrire la discipline dans sa spécificité, ceci permettra aussi d'accompagner et d'étayer les procédures d'entraînement de l'équipe de France masculine de Rugby à 7, mais aussi des équipes de France jeunes.

Ainsi, dans cette perspective, seront présentées successivement :

- la **méthodologie** générale employée au cours de ces travaux de thèse ;
- un **descriptif des performances** physiques et des caractéristiques physiologiques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7, au travers de différents tests physiques qu'ils ont effectués, en préambule de la **synthèse des résultats** des trois études réalisées ;
- une **discussion générale** ;
- des **perspectives** et des **applications pratiques** qui découlent de nos recherches ;
- une **conclusion** de ce travail.

L'intégralité des publications (soumises ou publiées) sont jointes en annexe.

IV. METHODOLOGIE

1. La population

18 joueurs masculins professionnels de l'équipe de France, sous contrat avec la FFR, ont participé à ces travaux de thèse. Tous avaient réalisé au moins un tournoi du WSS. Leurs caractéristiques anthropométriques sont les suivantes :

- **Age : 27 ± 4 ans**
- **Taille : 183 ± 9 cm**
- **Masse corporelle : 89 ± 13 kg**

Avant chaque expérimentation des études 1, 2 et 3, les sujets ont signé un consentement après avoir été pleinement informé des conditions expérimentales et des risques éventuels auxquels ils pouvaient être exposés. L'entraîneur national de l'équipe de France F.Pomarel et son préparateur physique J.Robineau, ont partagé et participé activement à chaque expérimentation.

2. Les évaluations physiques

a. Anthropométrie

La taille des joueurs (en cm) a été mesurée à l'aide d'une toise. La masse grasse (MG) a été évaluée par absorptiométrie biphotonique à rayon (D-XA) (Discovery W, Hologic Inc., Marlborough, MA, USA).

b. Détermination de la vitesse maximale aérobie (VMA)

La VMA de chaque joueur a été déterminée lors d'un test incrémental adapté du test décrit par Léger et Boucher (Leger et Boucher, 1980). Ce test est constitué de paliers de 3 minutes de course espacés d'une minute de récupération passive. La vitesse a été augmentée de 2 km.h^{-1} entre 8 et 12 km.h^{-1} puis de 1 km.h^{-1} à partir de 12 km.h^{-1} . Les joueurs étaient familiarisés avec ce type de test. Ce dernier s'est déroulé sur une piste extérieure en tartan. A l'arrêt de ce test au moment de l'épuisement du joueur, la VMA était définie comme la vitesse minimale qui sollicitait la fréquence cardiaque maximale.

c. Détermination de la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max})

La mesure de la VO_2 a été obtenue au cours d'un test d'effort maximal jusqu'à épuisement sur un tapis roulant mécanique (Medical Developpement S2500, Andrezieux Bouthéon, France) (identique au test VMA). La VO_2 était mesurée continuellement par un analyseur cycle à cycle (Jaeger, Oxycon Pro, Wuerzburg, Germany) (Carter et Jeukendrup,

2002). Ce système est constitué de différents capteurs permettant la mesure de la ventilation par minute de l'air expiré (VE) et les concentrations d'O₂ et de CO₂ dans l'air expiré. Les analyseurs d'O₂ et CO₂ étaient également calibrés avant chaque expérimentation en fonction des concentrations d'O₂ et CO₂ de l'air ambiant (respectivement en moyenne de 20,89 et 0,003%) et celles des bouteilles de gaz étalon (respectivement en moyenne de 15 et 5%). Pour chacune des expérimentations, la calibration globale du système (gaz de l'air ambiant, gaz de référence, délai et volume) a systématiquement été effectuée et cela pour chaque sujet. La turbine du débitmètre et le tube capillaire ont été changés pour chaque test. La température ambiante et l'hygrométrie ont systématiquement été renseignées pour chaque test. Généralement mesurée lors du dernier palier, la VO_{2max} était déterminée comme étant la plus haute valeur mesurée sur une période de 15 secondes lorsqu'un plateau était obtenu (variation de moins de 2 mL.kg⁻¹.min⁻¹), selon les critères retenus et utilisés par la FFR.

d. Détermination de la vitesse maximale (V_{max})

La V_{max} a été mesurée sur piste indoor, au cours d'un sprint de 80 m. Un système de chronométrage de sport sans fil (Smartspeed, Fusion Sport, Australie) a été installé avec des cellules photoélectriques tous les 10 mètres, afin de bénéficier des différents temps de passage. Le temps du sprint a été mesuré à 0,01 seconde près. Les joueurs avaient débuté chaque sprint en position debout, stable, avec le bout du pied avant situé à 0,5 m derrière la première porte. Au cours des 30 premiers mètres, la méthode de Samozino et coll. (2016), basée sur la mesure de la vitesse instantanée, a été appliquée à l'aide de l'utilisation d'un radar (Stalker Pro II Sports Radar Gun, 48 Hz, Plano, TX). Ce dernier était placé à 5 mètres derrière le joueur, sur un trépied à un mètre du sol (hauteur qui correspond approximativement au centre de masse). Ainsi, nous avons pu déterminer le profil force-vitesse de chaque joueur.

e. Détermination du statut acido-basique sanguin

Les perturbations du statut acido-basique ont été mesurées à l'issue d'une course de 300m « all-out » sur piste indoor. Un système de chronométrage de sport sans fil (Smartspeed, Fusion Sport, Australie) a été installé avec des cellules photoélectriques au départ et à l'arrivée. Le temps de la course a été mesuré à 0,01 seconde près. Les joueurs avaient débuté chaque sprint en position debout, stable, avec le bout du pied avant situé à 0,5 m derrière la première porte.

Au repos et suite à la course, des prélèvements sanguins ont été effectués sur les joueurs, par prélèvements capillaires, au niveau de la pulpe des doigts. Les échantillons ont été réalisés pré (au repos) et post-300m à différents moments : 0, 3, 5, 8 et 20 minutes. Les échantillons ainsi obtenus étaient immédiatement analysés avec le système i-Stat (Abbott, Les Ulis, France). À l'aide d'un échantillon de 85µL contenu dans un capillaire, nous avons mesuré le pH et les $[\text{HCO}_3^-]$ et de $[\text{La}]$ sanguines.

f. Détermination des capacités de force musculaires des membres inférieurs et supérieurs

Trois exercices de force ont été choisis pour évaluer les capacités de force des membres supérieurs et inférieurs de chaque joueur.

Deux groupes musculaires agonistes et antagonistes ont été choisis pour la force des membres supérieurs : le développé couché et le tirage planche. Les joueurs réalisaient deux séries d'échauffement avec des charges légères sur chaque exercice (équivalent à 50% de leur charge maximale théorique). Ensuite, ils débutaient le test en réalisant une série d'une seule répétition et augmentaient progressivement la charge à déplacer. Le temps de récupération entre chaque essai était de trois minutes. Le test s'arrêtait lorsque le joueur n'arrivait plus à déplacer une charge déterminée, la charge maximale (le « 1RM ») ne pouvant être déplacée qu'une seule fois.

Un demi-squat en isométrie a été réalisé pour évaluer la force des membres inférieurs. Pour ce faire, la plate-forme de force est l'outil de laboratoire le plus communément utilisé pour mesurer les forces appliquées au sol dans le plan vertical (F_z), antéro-postérieur (F_y) et latéral (F_x). Le joueur réalisait donc un demi-squat (genou 90°) sous une barre bloquée et sur une plate-forme de force de marque Kistler (1000Hz, Wintertur, Suisse). Une poussée maximale de 5 secondes était demandée de façon à ce que les capteurs qui correspondent à un agencement de plusieurs anneaux de quartz, dont la polarisation varie en fonction des charges qui lui sont appliquées, enregistrent la performance en newton.

g. Détermination de la puissance des membres inférieurs

La hauteur de saut (détente) au cours d'un « counter movement jump » (CMJ), mesurée par le système Optojump (Microgate, Bolzano, Italie), est considérée comme un indice fiable de la puissance des membres inférieurs. L'exécution de ce saut imposait aux joueurs d'enchaîner une phase de flexion des genoux, à un angle propre à chacun proche de 90°, avec une phase d'extension au sein d'un même mouvement. Les bras étaient bloqués à l'aide d'un bâton pour limiter le rôle des membres supérieurs et n'évaluer que le travail des membres inférieurs. Trois essais étaient réalisés, séparés entre eux par une récupération de 90 secondes, et seule la meilleure performance était retenue.

3. Les matchs

Les matchs analysés au cours de ces travaux de thèse pour les études 1, 2 et 3, étaient tous réalisés sur des terrains standards de compétitions (100 x 70 m), dans des conditions de température assez proche et stable (21-28°C), joués entre 10h00 et 19h00. Deux niveaux différents de compétitions ont fait l'objet d'analyses : un niveau Européen et un autre Mondial.

Pour les études 1 et 3, les tournois du circuit mondial du « *World Sevens Series* » (WSS) étaient étudiés, au cours des saisons 2012-2013 et 2013-2014. Dans ce cadre, les tournois rassemblaient 16 équipes (4 poules de 4) qui se disputaient 10 tournois annuels, aux quatre coins du monde : Dubaï, Le-Cap, Wellington, Sydney, Las-Vegas, Vancouver, Hong-Kong, Singapour, Paris et Londres. L'illustration ci-dessous (**Figure 5**) cartographie le WSS de la saison 2015-2016.

Figure 5 : Organisation du « World Sevens Series » masculin, de la saison 2015-2016



Pour l'étude 2, un tournoi du circuit Européen était étudié : le « *Sevens Grand Prix Series* » de Lyon, France (juin 2013). Dans le tableau ci-après (**Tableau 6**), les résultats et le déroulement de ce tournoi sont présentés.

Tableau 6 : Organisation et résultats de l'équipe de France de Rugby à 7 masculine, au tournoi Européen de Lyon 2013

	Samedi				Dimanche		
Match	Pool 1	Pool 2	Pool 3	Pool 4	Pool 5	½ Final de Cup	Place 3 et 4
Heure	11:06	14:22	16:54	18:42	10:22	15:02	17:32
Adversaire	Ecosse	Portugal	Russie	Allemagne	Italie	Angleterre	Galles
Résultat	Gagné	Gagné	Gagné	Gagné	Gagné	Perdu	Gagné
Score	31 - 5	35 - 7	17 - 14	32 - 19	12 - 7	7 - 21	12 - 10

4. L'analyse des performances physiques

Pour chacune des études 1, 2 et 3, l'analyse des performances physiques a été réalisée avec le même matériel et les mêmes méthodes de traitement des données.

a. Le système GPS

Durant chaque match, les joueurs étaient équipés d'une balise GPS de la marque Digital Simulation (*SensorEveryWhere*, France) à la fréquence d'acquisition de 8Hz (masse : 87 g ; dimension : 102 x 52 x 19 mm) (système décrit dans la Partie II, chapitre 1). Le GPS glissé dans une brassière, était placé entre les omoplates du joueur. Quinze minutes avant le début de chaque match, les GPS étaient activés afin de s'exposer à un maximum de satellites. Le nombre minimal de satellites pour la collection de nos données a été fixé par la cellule recherche de la FFR à 6. En deçà, les données ne peuvent être exploitées.

Les données de vitesse ont été calculées en utilisant la méthode Doppler par opposition à la différenciation de données positionnelles, car cette méthode est associée à un meilleur niveau de précision (Townshend et coll. 2008). Pour limiter la variabilité potentielle inter-unité, chaque joueur a porté la même balise pour chaque match du même tournoi. Les données GPS ont été capturées et calculées avec le logiciel *SensorEverywhere*.

La validité et la reproductibilité des données ont été observées en interne au travers des travaux de Peeters et coll. en 2016 (*i.e.*, Partie II, Chapitre I).

b. Individualisation des catégories de course

Les seuils de vitesse habituellement utilisés dans d'autres études (Higham et coll. 2012, Suarez et coll. 2014, Murray et coll. 2014), comme expliqué précédemment (*i.e.*, Partie II, Chapitre I) ne prennent pas en compte les caractéristiques physiques individuelles des joueurs, et n'ont donc pas été retenus dans ces travaux de thèse.

Ici, la VMA, la V_{\max} et l'ASR étaient utilisées afin d'individualiser les seuils de vitesse, comme l'avaient réalisé Mendez-Villanueva et coll. (2013) en football. Quatre zones de courses ont donc été établies : basse intensité ($<VMA$), haute intensité ($>VMA$), très haute intensité ($100\% + >30\%$ d'ASR) et sprint ($>85\% V_{\max}$).

c. Analyse vidéo

Les performances techniques des joueurs au cours du match ont été analysées avec Dartfish (Dartfish, TeamPro 6.0, Suisse) et réalisées par un analyste expérimenté, limitant ainsi la variabilité inter-opérateur. Ce dernier a notifié et évalué les différentes phases statiques ainsi que les actions offensives et défensives (coups d'envoi et de renvoi, touches, mêlées, pénalités, plaquages, contacts, rucks et passes) ainsi que les essais de chaque joueur au cours des matchs. Les définitions de ces spécificités techniques sont disponibles dans la Partie II, chapitre I (l'analyse qualitative n'a pas été prise en compte dans nos études).

d. Analyse des efforts de haute intensité

Ont été considérées comme efforts de haute intensité, toutes les courses de haute intensité ($>$ à VMA et $<$ à $85\% V_{\max}$), les accélérations supérieures à $2,5m.s^{-2}$ (Dwyer et coll. 2012), les courses en sprints ($>$ à 85% de la V_{\max}) et les actions de combat (plaquages, rucks, contacts, mêlées, ainsi que toutes les actions dites mixtes : lorsque l'action de combat s'enchaîne avec une autre action (exemple : accélération + combat, VMA + combat, sprint + combat).

À travers la notion de RHIE, a été analysé le type d'enchaînement de ces tâches de haute intensité dès qu'un joueur réalisait au moins trois de ces actions, séparées de moins de 21 secondes. Les durées de récupération ont été calculées entre la fin de la première action de haute intensité et la dernière de la série. Ici, il est important de noter qu'au cours de la période

dite de « récupération », les joueurs pouvaient être à l'arrêt comme en course de faible intensité à intensité modérée (inférieure à la VMA).

Pour ces analyses, l'inclusion des actions de combat dans les actions de haute intensité, a nécessité le couplage et la mise en phase des données GPS avec celles de la vidéo.

5. Les prélèvements sanguins en match

Réalisés pour la caractérisation physiologique des joueurs ainsi que pour l'étude 2, les prélèvements sanguins ont été effectués sur les joueurs, par prélèvements capillaires, au niveau de la pulpe des doigts. Pour l'étude 2, les échantillons de sang étaient obtenus au repos, après l'échauffement et à 3 minutes après l'arrêt du match (en cours de match lorsque le joueur était remplacé ou en fin de match lorsqu'il le terminait).

Les échantillons ainsi obtenus étaient immédiatement analysés ou maintenus au frais au maximum 6 minutes, avant qu'un analyseur soit disponible (i-Stat, Abbott, Les Ulis, France), mesurant le pH, les $[HCO_3^-]$ et de $[La]$ sanguines. Ci-dessous l'**Image 3**, illustrant cette méthode de prélèvement sanguin.

Image 3 : Illustration de la méthode de prélèvement sanguin



6. Les analyses statistiques

Au cours de ces travaux de thèse, différents outils statistiques ont été utilisés pour analyser nos résultats.

Les outils utilisés pour l'étude 1 et 3

Dans le cadre des études 1 et 3, les données issues de deux saisons de compétition ont été analysées. Dans ce cadre, au cours de la saison, plusieurs performances de match (physique et/ou technique) ont été recueillies pour les mêmes joueurs au cours des deux saisons. De fait, nous avons eu des contraintes de « dépendance des données », c'est-à-dire qu'une observation peut être influencée ou dépendante d'une autre observation, comme dans le cadre des mesures répétées. Nous avons ainsi modélisé nos données à l'aide d'un **modèle linéaire généralisé**. Ce dernier est une généralisation souple de la régression linéaire. Il généralise la régression linéaire en permettant au modèle linéaire d'être relié à la variable réponse via une fonction lien et en autorisant l'amplitude de la variance de chaque mesure d'être une fonction de sa valeur prévue. Afin de modéliser nos données, nous avons utilisé le **logiciel statistique R (R. 3.1.0, R Fondation pour Calcul Statistique)** et les packages associés « *lme4* » et « *psychometric* ». Dans ce modèle, la distribution normale des données concernant la majorité des variables caractérisant la performance physique en match (distances parcourues aux différents seuils de vitesse) était entrée dans le modèle et une distribution *Poisson* était fixée pour les données issues de l'analyse notationnelle et les variables concernant le nombre d'actions de course (nombre d'actions de haute intensité, nombre d'accélération...). Dans la première étude, le résultat du match (victoire ou défaite) et le niveau de l'adversaire (fort, moyen, faible) ont été inclus comme un effet fixe tandis que les joueurs étaient inclus en tant qu'effets aléatoires. Dans la seconde étude, le poste (demi de mêlée, avant, arrière) et la mi-temps (première mi-temps ou seconde mi-temps) ont été inclus comme un effet fixe tandis que les joueurs étaient inclus en tant qu'effets aléatoires.

Les données moyennes et les écarts-types relatifs aux différentes variables (contextuelles, postes ou mi-temps) étaient ensuite extraites des modèles préalablement définis. Une approche basée sur les **statistiques inférentielles** (« *magnitude-based inferential* ») a ensuite été utilisée selon les recommandations de Batterham et Hopkins (2006) et Winter et coll. (2014) afin d'estimer les différences, la taille de leur effet ainsi que les probabilités d'avoir ou non un effet. Traditionnellement, les statistiques proposent une significativité ou

non, sur la base d'une valeur d'un « p » provenant d'un test d'hypothèse nulle. Cette approche est source de confusion et peut induire en erreur, en fonction de l'ampleur de la statistique, de l'erreur de mesure et la taille de l'échantillon. Dans le cadre de ces travaux, nous avons donc choisi d'utiliser une approche plus intuitive et pratique, permettant non seulement d'estimer l'effet d'une variable mais aussi de quantifier la taille de cet effet. Le calcul de la taille des effets a été basé selon la méthode d'Hopkins et coll. (2009) à partir de la formule suivante :

$$d = \frac{x_1 - x_2}{SD_{pooled}}$$

Dans cette formule, d correspond à la taille de l'effet ; x_1 représente la moyenne du groupe (ou de la variable) 1 et x_2 représente la moyenne du groupe (ou de la variable) 2. Enfin, SD_{pooled} est la moyenne pondérée des écart-types des deux groupes (ou variables).

Les tailles de l'effet (ES) étaient alors classées de la façon suivante : trivial <0,2, petit 0,2-<0,6, modéré 0,6-<1,2, large 1,2-<2,0 et très large 2,0-4,0, d'après les recommandations de Batterham et Hopkins (2006).

Enfin, la chance d'avoir une différence entre les différentes variables d'intérêt était évaluée à partir du pourcentage de chance d'avoir un réel effet (non trivial). La classification d'Hopkins et coll. (2009) a été utilisée afin de classer les pourcentages de chance : 0-<1%, très certainement pas possible ; 1-<5%, certainement pas possible ; 5-<25%, pas possible ; 25-75%, possible ; >75-97,5%, probable ; >97,5-99%, très probable ; >99%, très certainement probable. Dans le cas où les probabilités d'avoir à la fois un effet positif et négatif étaient supérieures à 5% pour chaque effet, les différences étaient alors jugées « non claires ».

Toutes les données sont présentées en moyenne \pm l'écart-type (SD) dans ce manuscrit. Les différences relatives (en %) ainsi que la taille des effets sont rapportées en tant que moyenne et intervalle de confiance à 90% de la valeur.

Les outils spécifiques pour l'étude 1

Dans le cadre de l'étude 1, nous souhaitons catégoriser et regrouper les différentes variables contextuelles afin d'observer les variables présentant le plus de similitudes entre-elles, afin de pouvoir les grouper. Une analyse par « *cluster* » a donc été utilisée.

Afin de réaliser cette analyse, les performances physiques et techniques moyennes observées pour chaque variable (exemple : Gagner vs. Fort) ont été centrées et réduites par rapport à la moyenne. Cette étape a permis de standardiser chaque variable de performance (physique ou technique) à une moyenne de 0 et un écart-type de 1 afin d'éviter les problèmes inhérents aux analyses par cluster lorsque les variables ayant la variabilité la plus importante influencent de façon disproportionnée l'analyse. La méthode de catégorisation de « *Ward's* » a été utilisée à partir de la fonction *hclust* contenu dans le logiciel R. Cette dernière est une méthode de hiérarchisation agglomérative par cluster qui débute avec chacune des variables (les 6 dans notre cas) placée dans un cluster comprenant uniquement une variable. Les variables qui présentent le plus de similarités sont ensuite progressivement groupées jusqu'à l'obtention d'une seule catégorie comprenant toutes les variables.

Les outils pour l'étude 2

Les analyses statistiques pour cette étude ont été réalisées grâce au logiciel Statistica version 8.0 (StatSoft, Tulsa, USA).

Ici aussi les données ont toujours été présentées en moyenne \pm l'écart-type (SD). Une **ANOVA** à mesures répétées a été utilisée pour identifier les différences entre les prélèvements sanguins pré et post-match. Lorsque l'**ANOVA** était significative, un test post-hoc (Tukey HSD) a été utilisé. La variabilité des données a été observée au travers d'un coefficient de variation (CV) calculé à partir de la moyenne et de l'écart-type des données dans une condition similaire à partir de la formule suivante :

$$CV (\%) = \frac{\text{Moy}}{ET}$$

Dans cette formule : *Moy* correspond à la moyenne de la variable observée et *ET* correspond à l'écart-type de la variable d'intérêt.

Un coefficient de corrélation de « *Pearson* » a été utilisé pour observer les éventuelles relations entre les différents paramètres mesurés. L'importance de la corrélation était évaluée comme : trivial <0,1 ; petite >0,1-0,3 ; modérée >0,3-0,5 ; large >0,5-0,7 ; très large >0,7-0,9 et presque parfaite >0,9-1,0.

V.CONTRIBUTION PERSONNELLE

Chapitre 1. Préambule - Description des caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7

Au début de ce travail de thèse, comme explicité en méthodologie, les 18 joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7, sous contrat avec la FFR, ont été les sujets de différentes analyses, afin d'évaluer leurs caractéristiques physiques et physiologiques de sportif de haut niveau. Alors en **préambule** de nos études, ce chapitre présente les résultats aux différents tests effectués (au regard de l'indisponibilité de certains joueurs due aux blessures inhérentes à l'activité rugby, tous n'ont pu effectuer l'ensemble des tests).

Le **Tableau 7**, répertorie les données anthropométriques que nous avons recueillies sur les joueurs de l'équipe de France.

Tableau 7 : Caractéristiques anthropométriques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014

	Équipe (n=18)	Avants (n=10)	Arrières (n=8)
Age	27 ± 4	27 ± 5	27 ± 4
Taille (cm)	183 ± 9	189 ± 7	179 ± 8
Masse corporelle (kg)	88,7 ± 13,2	95,0 ± 10,1	82,9 ± 7,5
Masse grasse (%)	10,2 ± 1,6	10,3 ± 1,8	10,0 ± 1,6

Légende : Toutes les données sont présentées en moyenne ± écart type (SD).

Les avants sont plus lourds (11,5±10,2%) et plus grands (4,0±3,3%) que les arrières (effet modéré ; % de chance : probable). Ces données sont en accord avec celles d'une étude précédente qui observait des moyennes de 88 et 97 kg pour la masse corporelle, puis de 181 et 187 cm pour la taille, respectivement, pour les joueurs arrières et avants de leur équipe (différences significatives, $p < 0,01$) (Ross et coll. 2014a). Cependant, les différences semblent être beaucoup moins prononcées qu'au rugby à XV (le XV de France présentent par exemple des avants plus lourds de 16,2 % et plus grands de 2,9 % que les arrières, données non publiées).

Les données concernant les performances relatives à la filière aérobie sont présentées dans le **Tableau 8**.

Tableau 8 : Performances physiques aérobies des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014

	Équipe (n=17)	Avants (n=10)	Arrières (n=7)
VMA (m.s⁻¹)	4,84 ± 0,22	4,73 ± 0,24	4,89 ± 0,25
VO_{2max} (L.min⁻¹)	4,7 ± 0,4	4,6 ± 0,4	4,8 ± 0,3
VO_{2max} (mL.min⁻¹.kg⁻¹)	53 ± 7,4	48 ± 5,2	58 ± 4,3

Légende : VMA : vitesse maximale aérobie ; VO_{2max} : consommation maximale d'oxygène ; toutes les données sont présentées en moyenne ± écart type (SD).

Statistiquement, le **Tableau 8** nous montre que les VMA et VO_{2max} des avants sont inférieures (-3,7±1,9% et -76,9±11,8%) à celles des arrières (effet petit ; % de chance : possible). Ces résultats pourraient être mis en corrélations avec les travaux d'Higham et coll. 2013 qui avaient observé que les distances relatives parcourues en match étaient différentes entre avants et arrières, mais avec un effet petit. L'hypothèse que nous pouvons alors émettre est de dire que comme les exigences sur le terrain semblent similaires, alors les qualités physiques pré-requises le sont aussi. Les différences évaluées dans nos résultats sont faibles comparativement en rugby à XV où elles sont démontrées comme plus importantes et significatives au travers de différentes études (revue d'articles de Duthie et coll. (2003)).

Ci-après, nous présentons les données relatives au profil force-vitesse des joueurs. Ces profils ont été réalisés sur la base de la méthode de Samozino et coll. (2016), qui nous a permis de déterminer les capacités mécaniques globales des joueurs en activité de sprint. Comme explicité en méthodologie, ces capacités mécaniques peuvent être résumées par une combinaison des valeurs caractéristiques représentant ces relations : F₀ doit être interprétée comme la force dynamique maximale théorique que le corps serait capable de produire à une vitesse nulle, et V₀ comme la vitesse maximale théorique à laquelle le corps pourrait se mouvoir sous l'action de ses muscles, sans contraintes externes. L'augmentation de la P_{max} (puissance maximale produite sur le plan horizontal) passe par une augmentation des qualités de force et/ou de vitesse. Ces profils ont été observés et confrontés à ceux des joueurs de rugby à XIII et à XV (Cross et coll. 2015) (**Tableau 9**).

Tableau 9 : Profil force-vitesse des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014, confrontés à ceux des joueurs de rugby à XIII et à XV (données extraites de Cross et coll. 2015)

	<i>Rugby à 7</i>			<i>Rugby à XIII</i>		<i>Rugby à XV</i>	
	Équipe (n=15)	Avant (n=7)	Arrière (n=8)	Avant (n=6)	Arrière (n=9)	Avant (n=8)	Arrière (n=7)
V_{max} ($m.s^{-1}$)	9,38 ± 0,33	9,30 ± 0,36	9,44 ± 0,31	8,43 ± 0,55	8,99 ± 0,28	8,45 ± 0,54	9,01 ± 0,34
V_0 ($m.s^{-1}$)	9,62 ± 0,38	9,59 ± 0,37	9,65 ± 0,38	8,66 ± 0,60	9,27 ± 0,31	8,65 ± 0,59	9,28 ± 0,37
F_0 ($N.kg^{-1}$)	7,60 ± 0,84	7,38 ± 0,92	7,77 ± 0,80	8,06 ± 0,75	8,17 ± 0,99	8,48 ± 1,27	8,76 ± 0,41
P_{max} ($W.kg^{-1}$)	18,2 ± 2,0	17,5 ± 2,3	18,7 ± 1,6	17,4 ± 1,7	18,9 ± 2,2	18,3 ± 3,0	20,3 ± 1,0

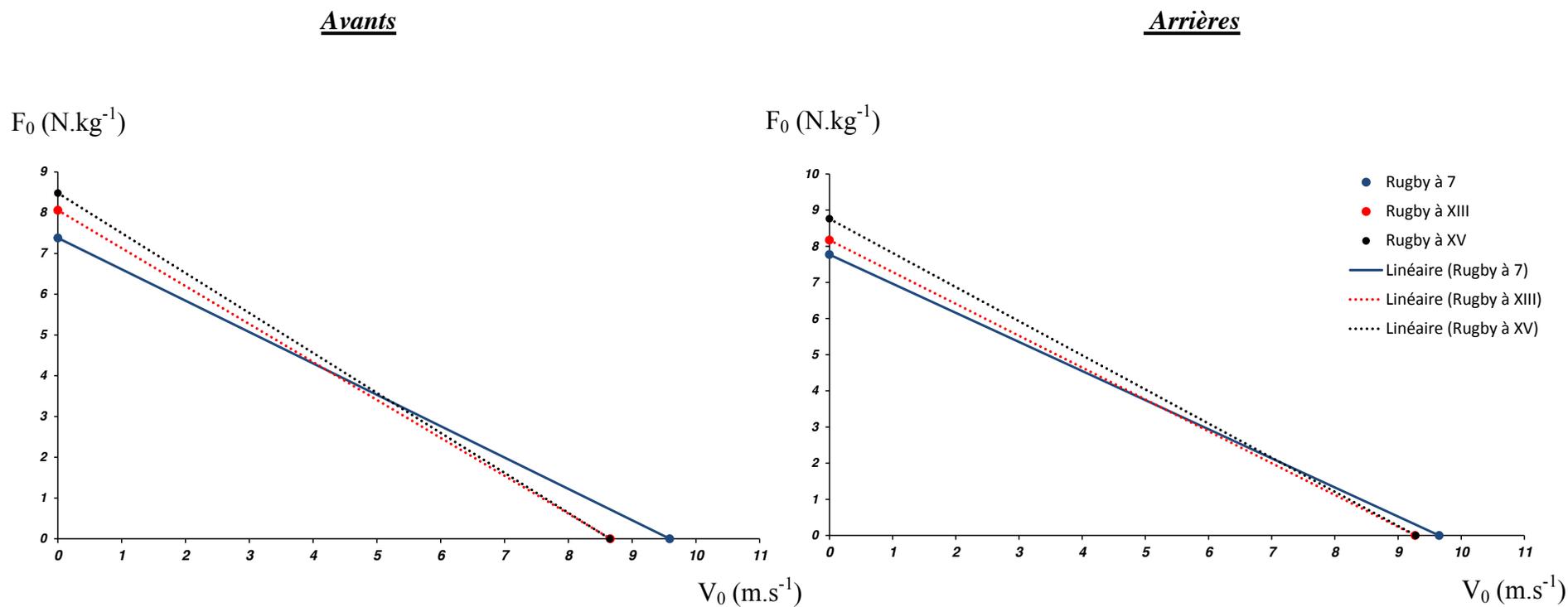
Légende : V_{max} : vitesse maximale atteinte ; V_0 : possibilité maximale de vélocité ; F_0 : possibilité maximale de force ; P_{max} : possibilité de puissance maximale produite sur le plan horizontal ; toutes les données sont présentées en moyenne ± écart type (SD).

Statistiquement, les résultats ne distinguent pas de différences entre les avants et les arrières de l'équipe de France, sur chaque paramètre mesuré (effets triviaux ; % de chance : certainement pas).

Les travaux de Cross et coll. (2015), ont montré que les arrières de rugby à XV avaient des P_{\max} et des F_0 (relatives), plus importantes (effet modéré ; % de chance possible) que les joueurs de rugby à XIII ; cependant, aucune différence concernant la V_0 n'a été distinguée. Au regard de ces données, si les V_0 des joueurs de Rugby à 7 paraissent supérieurs, celles des F_0 (relatives) sont inférieures. Les hypothèses que nous pourrions émettre pour expliquer ces différences sont les suivantes. Concernant les V_0 , l'hypothèse serait de dire qu'intrinsèquement, les joueurs de 7 auraient des qualités de vitesse supérieures aux autres rugbymen qui s'expliqueraient par les exigences du jeu mais aussi par le contenu de leurs entraînements (très orientés sur le travail de vitesse courte et longue). Concernant les F_0 qui elles sont inférieures chez les joueurs à 7, l'hypothèse serait de dire que F_0 dépend énormément des qualités de force pure du joueur et que nous savons qu'elles sont largement développées chez les joueurs de rugby à XV car ils ont la nécessité de déployer beaucoup de force horizontale dans certaines phases du jeu. Les P_{\max} de ces trois types de rugbymen paraissent semblables, cependant, l'observation des ratios force-vitesse devrait certainement montrer une sollicitation différente des qualités de force et de vitesse en fonction de chaque spécificité.

La pente de la relation force-vitesse caractérise le rapport entre les qualités de force et de vitesse d'un individu. La **Figure 6** ci-après, se propose d'illustrer les différences de profils en fonction des types de rugby pratiqués, et ceux, en fonction du poste des joueurs (avant et arrière).

Figure 6 : Différences de profils force-vitesse en fonction des types de rugby pratiqués (7, XIII et XV) selon les postes des joueurs (avant et arrière).



Légende : V_0 : possibilité maximale de vitesse; F_0 : possibilité maximale de force.

L'identification de ces profils permet donc aux entraîneurs et préparateurs physiques, d'orienter l'entraînement de chaque joueur au regard de ses qualités intrinsèques ainsi que de la discipline dans laquelle il évolue.

Ci-après dans le **Tableau 10**, sont répertoriées des données de force et puissance recueillies sur différents tests physiques.

Tableau 10 : Performances physiques de force et de puissance des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014

	Équipe (n=17)	Avants (n=9)	Arrières (n=8)
Développé couché (kg)	130 ± 11	134 ± 6	126 ± 15
Tirage planche (kg)	114 ± 9	116 ± 3	113 ± 13
Demi-squat isométrie (N)	199 ± 16	191 ± 14	207 ± 17
Countermovement Jump (cm)	46,8 ± 5,9	46,3 ± 7,1	47,4 ± 6,5

Légende : Toutes les données sont présentées en moyenne ± écart type (SD).

Les résultats aux tests physiques présentés dans le tableau précédent ne montrent statistiquement pas de différences entre les postes (effet trivial ; % de chance : certainement pas). Ces similitudes entre avants et arrières mènent à penser que les performances des joueurs paraissent homogènes en Rugby à 7.

Pour l'ensemble des joueurs, les réponses métaboliques suite à une course en sprint de 300 mètres, ont été observées au travers des valeurs pH, $[\text{HCO}_3^-]$ et $[\text{La}]$ (**Tableau 11**). Le temps moyen des joueurs pour effectuer cette distance était de $39,6 \pm 0,72$ secondes. Les données « pré-300m » correspondent aux valeurs de repos, celles « post-300m » correspondent aux valeurs évaluées immédiatement à l'arrêt de l'effort (= 0 minute), celles dénommées « nadir » correspondent à la moyenne des valeurs les plus basses et celles dénommées « pics » à la moyenne des valeurs les plus hautes, des données prélevées à 3, 5, 8 et 20 minutes.

Tableau 11 : Réponses métaboliques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7 au cours de la saison 2013-2014, suite à une course en sprint de 300 mètres.

		Équipe (n=14)	Avants (n=6)	Arrières (n=8)
pH	Pré-300 m	7,43 ± 0,02	7,43 ± 0,03	7,43 ± 0,02
	Post-300 m	7,29 ± 0,12	7,29 ± 0,11	7,30 ± 0,05
	Valeurs nadir	7,12 ± 0,06	7,11 ± 0,06	7,15 ± 0,05
HCO ₃ ⁻ (mmol.L ⁻¹)	Pré-300 m	24,4 ± 1,7	24,5 ± 2,0	24,3 ± 1,4
	Post-300 m	18,6 ± 5,4	19,2 ± 7,1	17,8 ± 1,4
	Valeurs nadir	8,3 ± 1,3	8,2 ± 1,7	8,7 ± 0,6
[La] (mmol.L ⁻¹)	Pré-300 m	3,5 ± 1,6	3,6 ± 1,9	3,5 ± 1,1
	Post-300 m	7,5 ± 3,6	8,3 ± 3,3	6,4 ± 4,1
	Valeurs pics	16,8 ± 1,6	17,4 ± 1,7	16,6 ± 1,1

Légende: [HCO₃⁻] = concentration de bicarbonate ; [La] = concentration de lactate; toutes les données sont présentées en moyenne ± écart type (SD) ; Pré-300m : valeurs de repos ; post-300m : valeurs évaluées immédiatement à l'arrêt de l'effort ; nadir : moyenne des valeurs les plus basses ; pics : moyenne des valeurs les plus hautes.

Les cinétiques de ces variables métaboliques ont été observées au travers de différents prélèvements effectués post-300m à 0, 3, 5, 8 et 20 min. Les figures suivantes (**Figure 7**, **Figure 8**, **Figure 9**) présentent les cinétiques du pH, du bicarbonate et du lactate sanguin post-300m.

Figure 7 : Cinétique du pH sanguin, post-300m chez des joueurs de Rugby à 7

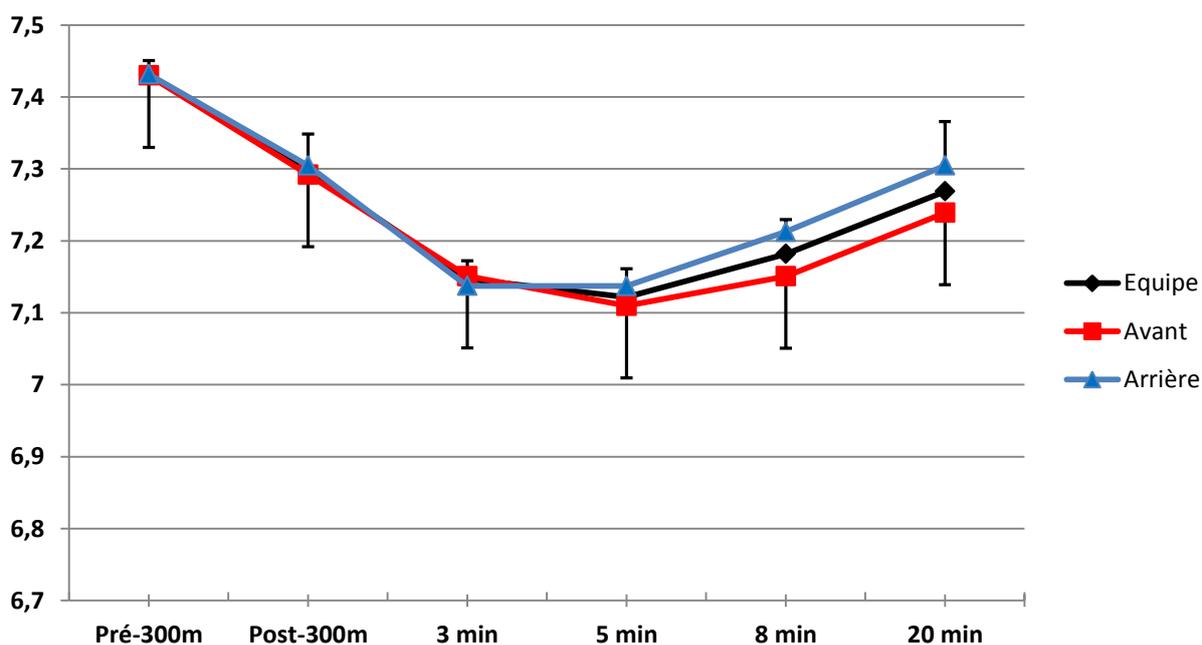


Figure 8 : Cinétique du bicarbonate sanguin, post-300m chez des joueurs de Rugby à 7

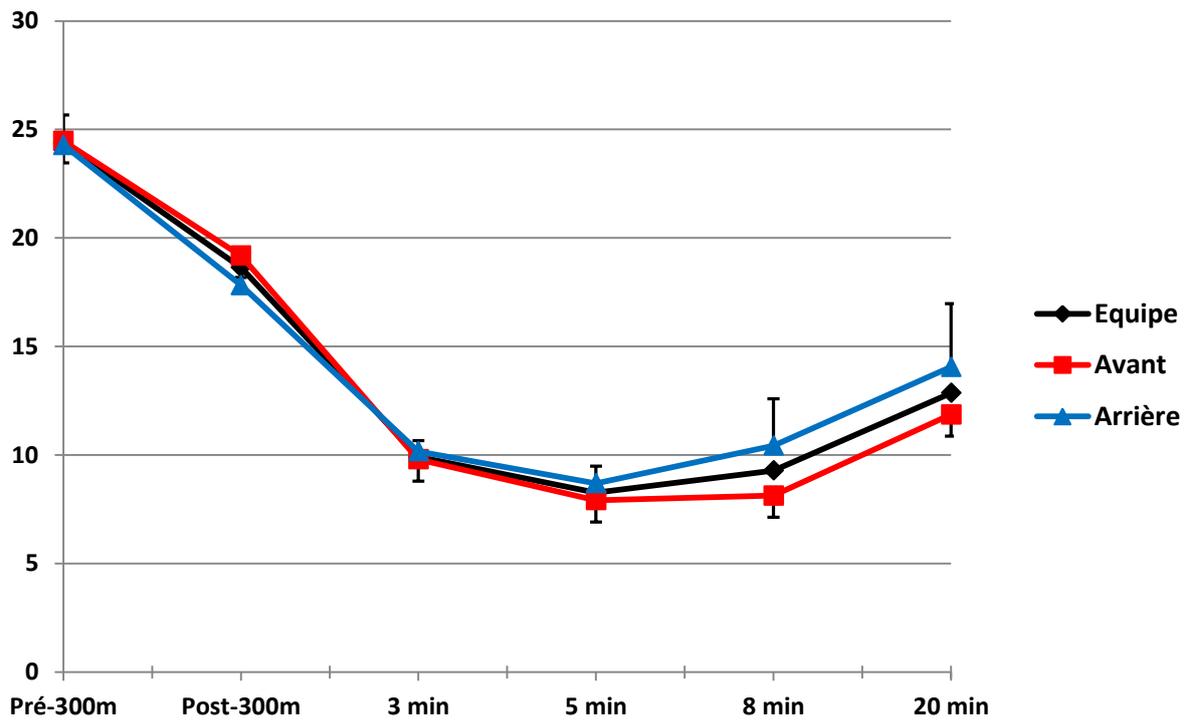
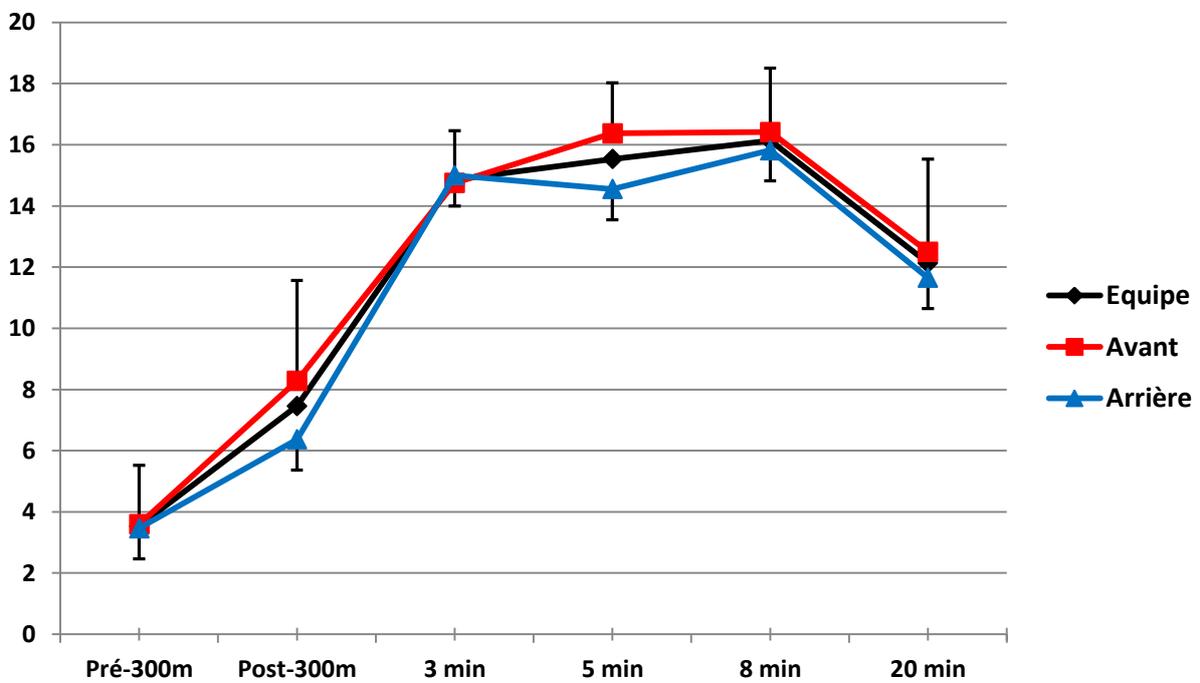


Figure 9 : Cinétique du lactate sanguin, post-300m chez des joueurs de Rugby à 7



Les paramètres sanguins observés ci-dessus nous interpellent en différents points. D'une part, les moyennes nadir de pH et de bicarbonates (respectivement $\sim 7,11$ et $\sim 8,2$ mmol.L⁻¹) ainsi que les valeurs moyennes pics de lactate ($\sim 17,4$ mmol.L⁻¹), sont semblables à celles observées post-300 mètres chez des athlètes de niveaux régionaux et nationaux de 400 mètres (pH : 7,16 ; bicarbonate : 10,0 mmol.L⁻¹, lactate : 16,8 mmol.L⁻¹) (Hanon et coll. 2010). Ceci suggère que les joueurs de Rugby à 7 ont la capacité de mobiliser fortement leur glycolyse au cours d'un effort maximal.

D'autre part, concernant les cinétiques, celles du pH et du bicarbonate montrent statistiquement que dès la 8^{ème} minute post-300 mètres, les arrières présentent des valeurs supérieures (effet modéré) aux avants, ce qui sous-entend qu'ils tendent à retrouver plus rapidement, leurs valeurs basales. Concernant la cinétique du lactate, à la 8^{ème} comme à la 20^{ème} minute, les avants et les arrières suivent la même pente de récupération.

Au cours de ce travail de thèse, la caractérisation des performances physiques et des paramètres physiologiques des joueurs de l'équipe de France était un élément incontournable pour tenter de décrire le plus rigoureusement possible, cette population de sportif de haut niveau. Certains profils ont pu se dégager au fil des différents tests, ce qui nous a permis de dessiner les contours de cette équipe, d'y distinguer quelques différences entre avant et arrière (explicitées précédemment) mais aussi, d'accompagner les membres de l'encadrement et en particulier le préparateur physique, dans l'individualisation de l'entraînement.

Pour information, toutes ces données que nous avons mesurées chez ces joueurs, ont été recueillies également de la même manière chez les 19 joueuses professionnelles de l'équipe de France de Rugby à 7 féminine au cours de la saison 2014-2015. En perspective, une éventuelle confrontation de ces données sera envisagée pour tenter de distinguer les particularités entre ces deux publiques, féminin et masculin.

Synthèse : Description des caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7

- . Age : 27 ans, Taille : 183 cm, masse corporelle : 89 kg, MG : 10,2 %.
- . VMA : 4,8 m.s⁻¹, VO_{2max} : 4,7 L.min⁻¹, V_{max} : 33,8 km.h⁻¹.
- . Développé couché : 130 kg, Tirage planche : 114 kg, Demi-squat isométrie : 199 kg.
- . Détente : 47 cm.
- . Concentration moyenne pic de lactate post-300m : 16,8 mmol.L⁻¹.
- . Valeur moyenne nadir de pH post-300m : 7,12.
- . Concentration moyenne nadir de bicarbonate post-300m : 8,3 mmol.L⁻¹.

Chapitre 2. ETUDE 1 : Impact des variables contextuelles sur la performance en Rugby à 7

Publication associée à cette étude :

COUDERC.A, PISCIONE.J, ROBINEAU.J, IGARZA.G, THOMAS.C, HANON.C, LACOME.M (2016). Impact of Contextual Variables on Running and Skill-Related Performance in International Rugby Sevens.

Soumise à PLOS One - PONE-D-16-39112 - [EMID:16b36a4f4c7db98f]

[Annexe 1]

1. Objectif de l'étude 1

Les performances en sport collectif au cours des compétitions étant qualifiées de « dynamiques » en raison de l'influence de différents facteurs, l'objectif de cette étude était de réaliser un focus sur l'impact de différentes variables contextuelles sur la performance.

Cette étude nous paraissait incontournable pour la gestion des moments de compétitions afin de mieux appréhender les performances réalisées par les joueurs. Comme précisé dans notre revue de littérature, le niveau de l'opposition et le score à la mi-temps en Rugby à 7 ont un réel impact sur les performances de course. Or étonnamment, ces variables n'ont été observées jusqu'à présent, qu'uniquement au regard des performances physiques des joueurs, et non des performances techniques, d'où notre intérêt pour cette thématique.

2. Le point de vue d'un joueur professionnel

Vincent Inigo, fort de son expérience à 7, nous a livré ici ses sentiments sur sa propre approche de la compétition, sur ce qu'il y fait et ressent en fonction des situations dans lesquelles il va jouer un match de Rugby à 7.



« En ce qui concerne ma préparation individuelle, il ne me semble pas avoir un changement de comportement significatif vis-à-vis du match qui arrive. Peu importe l'équipe que l'on joue, je me concentre sur mes routines de concentration, d'échauffement et de préparation de match.

Pour autant, c'est plus sur l'aspect purement technique que les choses changent, car les joueurs ne sont pas les mêmes d'une équipe à l'autre, et chacun d'eux ont leurs spécificités, qualités qui font qu'on tente de s'y préparer. C'est pour cela que l'on regarde les matchs de toutes les équipes, pour pouvoir s'imprégner du joueur que l'on aura en face (par exemple : il a un bon crochet intérieur, un bon raffut, il court vite, etc....) et ainsi répondre au mieux pour gagner.

De plus, sur l'aspect collectif, nous tentons de nous adapter à l'équipe que l'on affronte, on étudie leur stratégie, leurs points faibles et forts pour tout mettre en œuvre pour la victoire.

Je n'arrive pas à savoir si je joue différemment lorsque l'on joue une équipe forte ou une équipe faible, quand je suis titulaire ou remplaçant, lorsque l'on gagne ou l'on perd. Ma détermination est toujours la même ! Pour autant, ça m'interpelle car j'ai toujours l'envie de donner le maximum de moi-même et pourtant parfois, ma production finale n'est pas toujours identique »

FRANCE 7
#SOUTIENSLE7

Vincent INIGO
Joueur Professionnel France 7 FFR

Né le : 10.02.1983
1.73m - 78kg
Poste : Demi de mêlée, Centre
Clubs : Aviron Bayonnais, Castres
Joueur professionnel à la FFR (depuis 2012)
Jeux Olympiques de Rio (2016)

3. Méthodologie

a. Population

Quinze joueurs de l'équipe de France ont participé à cette étude (âge : $25,8 \pm 3,6$ ans ; taille : $181,9 \pm 10,1$ cm ; masse corporelle : $88,9 \pm 13,5$ kg).

b. Procédures expérimentales

Le circuit mondial "World Sevens Series" a été l'objet de toutes nos observations sur les saisons 2012-2013 et 2013-2014, au cours duquel l'équipe de France s'est classée respectivement 9^{ème} et 10^{ème}.

Seuls les joueurs ayant participé à plus d'une mi-temps complète ont été inclus dans l'analyse. Sur 56 matchs, un total de 491 observations a été comptabilisé. Les variables contextuelles qui ont été observées sont les suivantes :

- le résultat du match : victoire ou défaite ;
- le niveau de l'opposition : à savoir si l'adversaire était classé dans le haut de tableau (Fort, dans le Top 5), le milieu de tableau (Moyen, classée de la 6^{ème} à la 10^{ème} place) ou la fin du tableau (Faible, classée de la 11^{ème} à la 19^{ème} place).

(Les données n'ont pu être représentées par poste au regard d'un échantillon déséquilibré.)

c. Synthèse des tests utilisés

Le tableau ci-dessous présente les tests et les mesures (décrits dans la méthodologie générale de ces travaux de thèse), qui ont été utilisés pour cette étude.

Tests/Outils	Mesures
Léger-Boucher (réalisé à 4 reprises)	VMA
GPS	Distance totale, distance relative, distance à basse intensité (<VMA), distance à haute intensité (>VMA), nombre d'accélération (>2,5m.s ⁻²), nombre d'efforts de haute intensité (accélération > 2,5m.s ⁻² + nombre de courses > VMA)
Vidéo	Nombre de plaquages, rucks, contacts offensifs, passes, porteurs de balle (sans critères de réussite) (c.f définition p.37-38)
Statistique	Modèle linéaire généralisé. Statistiques inférentielles. Cluster

4. Les résultats principaux

a. Relation entre le résultat du match et les performances physiques et techniques

Le **Tableau 12**, présente ces relations. Lorsque l'équipe gagne, elle parcourt plus de distance relative ($7,8 \pm 2,8\%$) (effet petit ; % de chance : plus que probable), au travers d'une augmentation des distances à faible et haute intensité (effets petits ; % de chance : probables) que lorsqu'elle perd. Sur le plan technique, l'équipe comptabilise plus de contacts ($60,5 \pm 22,5\%$) (effet petit ; % de chance : plus que probable) et plus de situation de porteurs de balle ($58,7 \pm 18,0\%$) (effet modéré ; % de chance : plus que probable), lorsqu'elle gagne comparativement à lorsqu'elle perd.

Tableau 12 : Relation entre le résultat du match et les performances physiques et techniques

		Performances		Victoire vs. Défaite	
		Victoire (n=133)	Défaite (n=128)	Taille de l'effet	% de chance
Performances Physique	Distance relative (m.min ⁻¹)	95,6 ± 11,0	88,7 ± 13,0	0,57, ± 0,20 (petit)	100/0/0 (plus que probable)
	Distance à haute intensité (m.min ⁻¹)	19,9 ± 7,0	17,1 ± 8,7	0,36, ± 0,20 (petit)	90/10/0 (probable)
	Distance à faible intensité (m.min ⁻¹)	76,2 ± 9,4	72,1 ± 11,2	0,40, ± 0,20 (petit)	95/5/0 (probable)
	Efforts de haute intensité (n.min ⁻¹)	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,3	0,18, ± 0,20 (trivial)	42/58/0 (possible)
	Accélérations (n.min ⁻¹)	1,3 ± 0,4	1,2 ± 0,4	0,19, ± 0,20 (trivial)	46/54/0 (possible)
Performances Technique	Passes (n.min ⁻¹)	0,28 ± 0,18	0,24 ± 0,15	0,20, ± 0,20 (petit)	50/50/0 (possible)
	Rucks (n.min ⁻¹)	0,17 ± 0,13	0,16 ± 0,13	0,08, ± 0,20 (trivial)	17/82/1 (probable)
	Contacts (n.min ⁻¹)	0,16 ± 0,11	0,10 ± 0,11	0,55, ± 0,20 (petit)	100/0/0 (plus que probable)
	Plaquages (n.min ⁻¹)	0,25 ± 0,12	0,26 ± 0,13	-0,07, ± 0,20 (trivial)	2/84/15 (probable)
	Porteurs de balle (n.min ⁻¹)	0,23 ± 0,14	0,15 ± 0,11	0,66, ± 0,20 (modéré)	100/0/0 (plus que probable)

Légende : Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type) ; Taille de l'effet <0,19, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et >1,20 considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : <1%, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97.5%, probable ; 97.5-99%, très probable ; >99%, plus que probable. Si le pourcentage de chance est > à 5%, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

b. Influence du niveau de l'adversaire sur les performances physiques et techniques

Le **Tableau 13**, présente l'influence du niveau de l'adversaire (Top, Moyen, Faible) sur les performances physiques et techniques des joueurs.

Statistiquement, la distance relative parcourue est plus importante ($4,4 \pm 3,1\%$) lorsque l'équipe joue contre une équipe faible comparativement à une équipe forte (effet petit ; % de chance : probable). La distance parcourue à faible intensité est plus importante lorsque l'équipe joue contre une équipe faible comparativement à une équipe moyenne ($3,9 \pm 3,1\%$) et/ou forte ($5,5 \pm 3,5\%$) (effets petits ; % de chance : probable). Sur le plan technique, l'équipe réalise plus de passes ($17,2 \pm 16,0\%$) contre une équipe moyenne comparativement à une équipe forte (effet petit ; % de chance : probable). L'équipe réalise plus de contacts contre des équipes fortes ($29,4 \pm 17,1\%$) et/ou moyennes ($30,8 \pm 17,8\%$), comparativement à une équipe faible (effets petits ; % de chance : probable).

Tableau 13 : Influence du niveau de l'adversaire sur les performances physiques et techniques

	Performances			Top vs. Moyen		Top vs. Faible		Moyen vs. Faible		
	Top (n=86)	Moyen (n=86)	Faible (n=89)	Taille de l'effet	% de chance	Taille de l'effet	% de chance	Taille de l'effet	% de chance	
Performances Physique	Distance relative (m.min ⁻¹)	91,3 ± 13,1	93,1 ± 12,9	95,6 ± 10,9	-0,14, ± 0,25 (trivial)	1/65/34 (possible)	-0,35, ± 0,25 (petit)	0/16/84 (probable)	-0,21, ± 0,25 (petit)	0/48/52 (possible)
	Distance à haute intensité (m.min ⁻¹)	19,0 ± 7,0	20,3 ± 9,3	19,9 ± 7,4	-0,15, ± 0,25 (trivial)	1/61/38 (possible)	-0,12, ± 0,25 (trivial)	2/68/30 (possible)	0,05, ± 0,25 (trivial)	16/79/5 (probable)
	Distance à faible intensité (m.min ⁻¹)	72,0 ± 12,1	73,2 ± 9,4	76,2 ± 9,3	-0,12, ± 0,25 (trivial)	2/69/30 (possible)	-0,39, ± 0,25 (petit)	0/10/90 (probable)	-0,31, ± 0,25 (petit)	0/22/77 (probable)
	Efforts de haute intensité (n.min ⁻¹)	0,52 ± 0,24	0,49 ± 0,27	0,51 ± 0,22	0,10, ± 0,25 (trivial)	26/71/2 (possible)	0,02, ± 0,25 (trivial)	12/81/7 (possible)	-0,09, ± 0,25 (trivial)	3/74/23 (possible)
	Accélération (n.min ⁻¹)	1,38 ± 0,39	1,29 ± 0,45	1,28 ± 0,34	0,22, ± 0,25 (petit)	54/45/0 (possible)	0,28, ± 0,25 (petit)	71/29/0 (possible)	0,03, ± 0,25 (trivial)	14/80/6 (pas clair)
Performances Technique	Passes (n.min ⁻¹)	0,23 ± 0,16	0,28 ± 0,15	0,28 ± 0,19	-0,31, ± 0,25 (petit)	0/23/77 (probable)	-0,27, ± 0,25 (petit)	0/33/67 (possible)	0,01, ± 0,25 (trivial)	10/81/9 (pas clair)
	Rucks (n.min ⁻¹)	0,19 ± 0,13	0,18 ± 0,13	0,17 ± 0,12	0,11, ± 0,25 (trivial)	29/69/2 (possible)	0,21, ± 0,25 (petit)	52/48/0 (possible)	0,09, ± 0,25 (trivial)	24/73/3 (possible)
	Contact (n.min ⁻¹)	0,21 ± 0,10	0,21 ± 0,11	0,16 ± 0,11	0,02, ± 0,25 (trivial)	8/80/12 (pas clair)	0,42, ± 0,25 (petit)	93/7/0 (probable)	0,43, ± 0,25 (petit)	93/7/0 (probable)
	Plaques (n.min ⁻¹)	0,22 ± 0,14	0,23 ± 0,12	0,25 ± 0,11	-0,06, ± 0,25 (trivial)	5/78/18 (probable)	-0,21, ± 0,25 (petit)	0/47/53 (possible)	-0,17, ± 0,25 (trivial)	1/58/41 (possible)
	Porteurs de balle (n.min ⁻¹)	0,22 ± 0,12	0,26 ± 0,14	0,23 ± 0,14	-0,35, ± 0,25 (petit)	0/16/84 (probable)	-0,12, ± 0,25 (trivial)	2/67/31 (possible)	0,22, ± 0,25 (petit)	55/44/0 (possible)

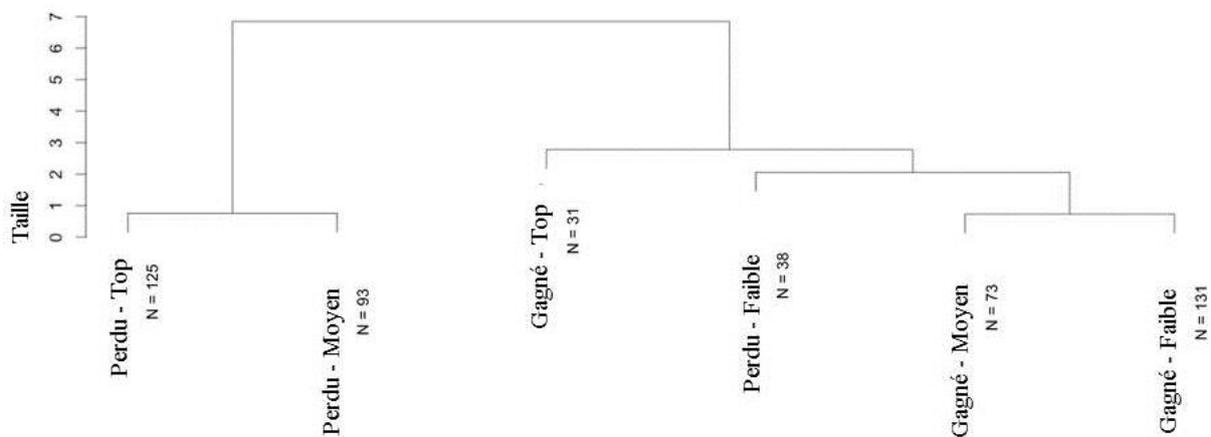
Légende : Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type). Taille de l'effet <0,19, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et >1,20 considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : <1%, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97.5%, probable ; 97.5-99%, très probable ; >99%, plus que probable. Si le pourcentage de chance est > à 5%, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

c. Analyse par Cluster

La **Figure 10** présente un dendrogramme représentant les résultats obtenus lors de l'analyse par « cluster ». Cette figure représente la similarité relative des différentes variables en fonction de leur impact sur les performances physiques et techniques des joueurs.

Les similitudes des variables ont d'abord été regroupées en deux groupes. Le premier groupe rassemble les matchs perdus contre les équipes fortes et ceux perdus contre les équipes moyennes. Le second groupe rassemble toutes les autres variables contextuelles (les matchs gagnés contre les équipes fortes, moyennes et faibles, ainsi que les matchs perdus contre les équipes faibles). Dans ce second groupe, les variables « Gagner contre une équipe moyenne » et « Gagner contre une équipe faible » sont présentées comme ayant le plus de similarités entre-elles.

Figure 10 : Dendrogramme représentant la similarité relative des différentes variables en fonction de leur impact sur les performances physiques et techniques des joueurs



5. Discussion et Conclusion

Cette étude a analysé l'influence des résultats d'un match et du niveau de l'adversaire, sur les performances physiques et pour la première fois, sur les performances techniques, des joueurs de Rugby à 7, en compétition internationale. Les données rapportées dans cette étude démontrent que l'issue d'un match et dans une moindre mesure, le niveau des adversaires, influencent les performances physiques et techniques des joueurs.

Les performances physiques observées dans cette étude, au travers de la distance relative parcourue ($93,3 \pm 12,3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), étaient conformes à celles rapportées dans les études précédentes concernant le Rugby à 7 (Granatelli et coll. 2014 ; Murray et coll. 2014 ; Furlan et coll. 2015). Cependant, elle reste inférieure à celle observée dans les études avec pour sujet des équipes mieux classées sur le ranking mondial comme l'Australie ($120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) (Higham et coll. 2012) ou l'Angleterre ($106 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) (Ross et coll. 2015). La comparaison des distances parcourues à haute intensité n'est pas possible entre ces études car pour la première fois, notre analyse a utilisé des seuils de vitesse individualisés pour chaque joueur. Cependant, les différences observées entre les études peuvent être dues à diverses variables contextuelles, comme l'issue du match et/ou le niveau de l'adversaire, qui impactent directement les performances physiques des joueurs et donc tiennent une importance centrale.

En effet, nos résultats mettent en évidence que les joueurs de Rugby à 7 parcourent plus de distance relative et plus de distance à haute intensité en cas de victoire. Ceci est en adéquation avec un résultat observé en rugby à XIII, selon lequel lors de matchs gagnés, les joueurs couvrent une plus grande distance relative ; cependant, aucune différence significative n'a été observée concernant la distance parcourue à haute intensité dans cette discipline (Gabbett et coll. 2014). Par ailleurs, des augmentations du nombre de contacts et de situations où les joueurs sont porteurs de balle ont été enregistrées lors de victoires comparativement aux défaites. Ainsi, l'hypothèse serait que les joueurs augmentent leur activité offensive, ce qui est certainement en corrélation avec une augmentation du temps de possession de balle, lorsque l'équipe l'emporte. Bien que les statistiques de possession ne soient pas disponibles dans cette étude, ces résultats sont en accord avec les observations faites sur le Rugby à 7 Australien, qui démontrent que les équipes les mieux placées sur un tournoi, donc celles qui présentent le plus de victoires, ont été associées à une efficacité supérieure en attaque couplée à des capacités techniques permettant le maintien de la possession du ballon (Higham et coll. 2014). L'ensemble de ces résultats suggèrent alors que la réussite en Rugby à 7 serait

étroitement liée à la capacité de maintenir une intensité de jeu élevée couplée à une possession de balle plus importante que celle de son adversaire.

Dans cette étude, un grand nombre de différences sont relevées, pour autant, elles ne sont que d'ordre trivial. Ces différences concernant les performances physiques comme techniques peuvent s'expliquer par l'augmentation du niveau de jeu de chaque nation depuis l'introduction officielle du Rugby à 7, au programme des Jeux Olympiques. En effet, la différence moyenne de points en fin de phase de poules a diminué de 24,1 au cours de la saison 2005/2006, à 17,5 au cours de la saison 2011/2012, confirmant ainsi que les matchs sont de plus en plus serrés (Higham et coll. 2014). Cependant, la comparaison des performances physiques indique malgré tout une augmentation de la distance totale parcourue et de la distance parcourue à faible intensité lorsque l'équipe joue contre une équipe forte comparée à une équipe faible. Comme suggéré par une étude précédente, les joueurs parcourent plus de distance totale contre les équipes faibles car elles auraient la capacité de dicter le jeu, couplé à la capacité de maintenir la possession du ballon (Higham et coll. 2014). D'autre part, lorsque l'équipe joue contre une équipe forte, nos résultats indiquent que les joueurs augmentent leur nombre d'accélération effectuées au cours du match. Ce résultat pourrait être la conséquence d'une augmentation du temps passé sans possession du ballon, avec l'obligation de réaliser en phase défensive, plus d'accélération pour tenter de le récupérer.

Nous notons une augmentation du nombre de passes ainsi que du nombre de plaquages lorsque l'équipe joue contre une équipe moyenne en comparaison avec une équipe forte. Ce résultat pourrait être la conséquence d'une stratégie de jeu : faire déplacer énormément le ballon tout en étant tranchant sur sa récupération lorsqu'il est perdu. Des travaux antérieurs ont démontré que les équipes qui gagnent sont plus efficaces dans les phases défensives (Higham et coll. 2014). Ainsi, pour tenter d'inverser la tendance, une équipe qui joue contre une équipe plus forte qu'elle, devrait avoir pour objectif de maintenir la possession du ballon autant que possible, en limitant les erreurs de manipulation de ce dernier. Ces résultats sont conformes à ceux rapportés par Hughes et Jones (2005) qui confirment que les équipes qui gagnent mettent souvent en place la stratégie du jeu « du chat et de la souris » tandis que les équipes qui perdent sont quant à elles, plus sur un style de jeu tranchant, tentant de couper les trajectoires des adversaires (les anglo-saxons parlent du style de jeu « *cut and thrust* »). Les entraîneurs devraient donc tenter de développer chez leurs joueurs à l'entraînement, la capacité de maintenir la possession du ballon et celle d'effectuer des passes de qualité, malgré une pression défensive importante et souvent agressive.

L'analyse du « *cluster* » fournit un aperçu graphique montrant à quel point des similitudes existent entre différentes variables contextuelles. En effet, les variables « Gagner contre une équipe moyenne » et « Gagner contre une équipe faible » sont présentées comme ayant le plus de similarités entre-elles. Ceci peut aussi être expliqué par une hypothèse citée précédemment qui souligne l'augmentation du niveau de jeu de chaque nation depuis l'introduction officielle du Rugby à 7, au programme des Jeux Olympiques. En effet, ceci pourrait expliquer qu'une équipe moyenne est certainement proche d'une équipe faible, ce qui expliquerait que les joueurs puissent les aborder de la même façon, gagner, et réaliser des performances physiques similaires.

Pour conclure, les données présentées dans cette étude démontrent que le résultat du match ainsi que le niveau de l'adversaire influencent le profil d'activité d'un joueur de Rugby à 7 de haut-niveau. Les joueurs sont susceptibles de réaliser de meilleures performances physiques au cours de match dont l'issue est favorable. Ils peuvent augmenter la distance totale parcourue dans un match joué contre un adversaire plus faible. Pour la première fois en Rugby à 7, nos données ont montré que les performances techniques sont elles aussi influencées par les variables contextuelles, probablement en raison d'une variation possible dans la possession du ballon (non testée dans cette étude). En effet, une diminution du nombre de passes et du nombre de situations où les joueurs sont porteurs de balle est à signaler lorsque l'on joue contre une équipe forte. Alors, ces données pourraient alimenter un cadre réaliste pour les analystes de performance ainsi que pour les entraîneurs, afin d'observer les performances des joueurs en match, tout en prenant en compte l'influence du résultat du match ainsi que le classement de l'adversaire.

Limite de l'étude : Bien que les résultats de cette étude soulignent l'importance de tenir compte de l'influence des variables contextuelles sur les performances physiques et techniques des joueurs de Rugby à 7, certaines limites peuvent être soulignées. Tout d'abord, notre étude s'est centrée sur une seule équipe, limitant ainsi la validité de nos conclusions. Deuxièmement, seules deux variables contextuelles ont été incorporées dans notre analyse, alors que d'autres peuvent aussi influencer la performance : les conditions météorologiques, les lieux de match sont des préoccupations communes à différentes recherches. De la même façon, la dimension psychologique au cours d'un match a elle aussi son importance et doit sans doute représenter un facteur modulant la performance des joueurs. Enfin, un échantillon plus important serait nécessaire pour une plus grande puissance de nos résultats (écueil récurrent avec des données sur des sportifs de haut niveau).

L'impact des variables contextuelles en Rugby à 7 : l'essentiel

✓ L'impact du résultat du match

Comparativement aux matchs perdus, au cours des matchs dont l'issue est favorable : les joueurs parcourent plus de distance relative, réalisent plus de contacts et sont plus porteurs de balle.

✓ L'impact du niveau de l'adversaire

Lorsque l'équipe joue contre une équipe forte, les joueurs parcourent moins de distance relative et réalisent plus d'accélération en comparaison avec une équipe faible ; les joueurs réalisent moins de passes et sont moins porteurs de balle contre une équipe forte, comparativement à une équipe moyenne.

Chapitre 3. ETUDE 2 : Analyse des réponses physiologiques en Rugby à 7

Publication associée à cette étude :

COUDERC.A, THOMAS.C, LACOME.M, PISCIONE.J, ROBINEAU.J, DELFOUR-PEYRETHON.R, BORNE.R, HANON.C (2016). Movement Patterns and Metabolic Responses During an International Rugby Sevens Tournament.

International Journal of Sports Physiology and Performance.

Acceptée. <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0313>

[Annexe 2]

1. Objectif de l'étude 2

L'objectif de cette étude était d'observer les réponses physiologiques des joueurs au cours d'un tournoi international de Rugby à 7, les décrire, puis d'affiner et d'individualiser les contenus d'entraînement au regard de l'exigence de la compétition. Bien que la revue de littérature réalisée précédemment nous ait éclairés sur les réponses lactiques de quatre joueurs au cours d'un tournoi de Rugby à 7, il nous paraissait opportun d'approfondir les connaissances (1) en augmentant l'échantillon, (2) en observant les déséquilibres potentiels de l'homéostasie, et (3), en observant cela au cours d'un tournoi de niveau international. À court terme, ceci nous a permis de parfaire la préparation des joueurs à l'approche des Jeux Olympiques ; dans un second temps et à plus long terme, ces observations pourraient servir à la détection de futurs talents ainsi qu'au développement de programmes d'entraînement spécifiques au Rugby à 7.

2. Le point de vue d'un joueur professionnel

Pour cette seconde étude, nous avons fait appel au joueur le plus expérimenté de l'équipe : Julien Candelon. Son professionnalisme de tous les instants, lui permet d'entretenir une longévité importante dans sa carrière de sportif de haut niveau. Intéressé par tous les facteurs pouvant influencer sa performance, il s'était montré très curieux autour des travaux mettant en œuvre les prélèvements sanguins. Ci-après, il nous livre lui aussi, ses impressions.



« Aujourd'hui, nous sommes confrontés sur les tournois à 7 à plusieurs configurations de compétitions : certaines se jouent sur 2 d'autres 3 jours. Sur le plan métabolique, l'organisme semble avoir une réaction évolutive au fur et à mesure que la compétition avance. À l'issue du 1^{er} match, on ressent une fatigue de courte durée qui est souvent atténuée par les bains froids effectués après le match. Plus les matchs s'enchaînent, plus on ressent une fatigue physique et parfois aussi mentale. Il y a dans l'enchaînement des matchs une notion d'échauffement/refroidissement/réchauffement qui est à gérer et difficile à assimiler. L'organisme n'est pas habitué à repartir au combat 2 ou 3 heures après un effort si intense. Le rugby à 7 pour ça, est une discipline unique proche d'un sport extrême. Extrême dans ses difficultés, mais aussi par les différentes sensations qu'il nous procure. Par exemple, lorsque vous sentez vos jambes gorgées d'acide lactique, qui peuvent vous lâcher à tout instant au cours d'un match...on se pose forcément la question de ce qui se passe ! Et comment faire pour s'y préparer et espérer moins en souffrir...
J'espère que les travaux d'Anthony, grâce aux multiples prélèvements sanguins qu'il a eu l'occasion de faire avec nous, aura pu éclaircir la littérature scientifique sur ces notions d'acide lactique en Rugby à 7 (avec les litres de sang qu'il nous a pris...ce serait la moindre des choses !) »

FRANCE 7
#SOUTIENSLE7

Julien CANDELON
Joueur Professionnel France 7 FFR

- . Né le : 08.07.1980
- . 1.70m - 80kg
- . Poste : Ailier
- . Clubs : SU Agen, Stade Toulousain, RC Narbonne, USA Perpignan
- . Joueur professionnel à la FFR (depuis 2012)
- . Jeux Olympiques de Rio (2016)

3. Méthodologie

a. Population

Douze joueurs de l'équipe de France ont été les sujets de cette étude (âge : $26,2 \pm 3,7$ ans ; taille : $183,5 \pm 9,3$ cm ; masse corporelle : $90,6 \pm 12,5$ kg).

b. Procédures expérimentales

Le tournoi du « Sevens Grand Prix Series » de Lyon (France, 2013), étape du circuit Européen, a fait l'objet de nos observations. Durant ce tournoi, l'équipe de France a joué quatre matchs le samedi et trois matchs le dimanche, séparés en moyenne de $2h57min \pm 1h05min$. Les joueurs ont été séparés dans l'analyse de la façon suivante : ceux qui ont réalisé l'intégralité du match (WM) et ceux qui étaient remplacés et/ou remplaçants (S). Les résultats n'ont pu être présentés par poste au regard d'un échantillon trop faible.

c. Synthèse des tests utilisés

Le tableau ci-dessous présente les tests et les mesures (décrits dans la méthodologie générale de ces travaux de thèse), qui ont été utilisés pour cette étude.

Tests/Outils	Mesures/Analyses
Léger-Boucher	VMA
80m	V_{max}
GPS	Distance totale, distance relative, distance à basse intensité (<VMA), distance à haute intensité (>VMA et < 30% d'ASR), distance à très haute intensité (>100% VMA + 30% d'ASR)
Prélèvement sanguin	pH, Bicarbonate, Lactate
Statistique	ANOVA. Coefficient de corrélation. Statistiques inférentielles

4. Les résultats principaux

a. Description des performances physiques

Pour tous les joueurs (VMA : $4,76 \pm 0,20 \text{ m.s}^{-1}$; V_{max} : $9,01 \pm 0,29 \text{ m.s}^{-1}$) (match complet, remplacés et remplaçants), la distance relative parcourue était de $91 \pm 13 \text{ m.min}^{-1}$ avec des valeurs minimales et maximales respectivement de 65 et 122 m.min^{-1} ; la distance couverte à basse intensité était de $73 \pm 10 \text{ m.min}^{-1}$; la distance couverte à haute intensité de $17 \pm 7 \text{ m.min}^{-1}$ et celle à très haute intensité de $6 \pm 4 \text{ m.min}^{-1}$. Ces données sont représentées dans le **Tableau 14**.

Lorsqu'elle était exprimée en fonction du temps de jeu (distance relative), la distance parcourue par les joueurs S était supérieure ($6,7 \pm 6,1\%$) à celle des joueurs WM (effet petit ; % de chance : probable). De la même façon, les joueurs S parcourent plus de distance relative à haute intensité ($22,9 \pm 14,7\%$) que les joueurs WM (effet modéré ; % de chance : probable) ($18,8 \pm 8,1$ vs. $14,5 \pm 4,8 \text{ m.min}^{-1}$; $p=0,026$).

Tableau 14 : Performances physiques des joueurs au cours d'un tournoi de Rugby à 7

	WM (n=23)	S (n=36)	Taille de l'effet	% de chance
Temps de jeu (min)	16,3 ± 1,0* [15,3-18,2]	7,9 ± 3,5 [1,4-15,3]	3,0,± 0,4 (large)	100/0/0 (plus que probable)
Distance totale (m)	1429,1 ± 170,6* [1122,0-1800,1]	728,0 ± 339,9 [4,1-9,9]	2,4,± 0,4 (large)	100/0/0 (plus que probable)
Distance relative (m.min⁻¹)	87,2 ± 11,1 [70,5-113,7]	93,5 ± 14,0 [65,2-122,4]	-0,5,± 0,4 (petit)	0/13/87 (probable)
Faible intensité (m.min⁻¹)	72,7 ± 7,8 [63,2-97,6]	73,4 ± 11,0 [49,1-97,8]	-0,1,± 0,4 (trivial)	14/56/30 (pas clair)
Haute intensité (m.min⁻¹)	14,5 ± 4,8* [6,8-23,7]	18,8 ± 8,1 [0,0-41,5]	-0,7,± 0,4 (modéré)	0/5/95 (probable)
Très haute intensité (m.min⁻¹)	5,0 ± 2,8 [0,3-11,0]	6,6 ± 4,7 [0,0-19,7]	-0,4,± 0,4 (petit)	1/20/79 (probable)

Légende: Toutes les données sont présentées en moyenne ± écart type (SD) [min-max] ; WM : joueur ayant joué tout le match ; S : joueur remplacé et remplaçant; * : différence significative entre WM et S ($p < 0,001$). Taille de l'effet $< 0,19$, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et $> 1,20$ considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : $< 1\%$, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97,5%, probable ; 97,5-99%, très probable ; $> 99\%$, plus que probable. Si le pourcentage de chance est $> 5\%$, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

b. Description des réponses physiologiques

Pour l'ensemble des joueurs, les moyennes post-match du pH, de la $[\text{HCO}_3^-]$ et de la $[\text{La}]$ étaient respectivement de $7,26 \pm 0,08$, $13,8 \pm 3,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ et $11,7 \pm 3,7 \text{ mmol.L}^{-1}$.

Comme reportés dans le **Tableau 15** pour les joueurs WM et S, le pH et la $[\text{HCO}_3^-]$ diminuent significativement entre le prélèvement pré et le post-match ($p < 0,001$). La $[\text{La}]$ quant à elle, augmente significativement entre le prélèvement pré et post-match ($p < 0,001$).

Le statut du joueur (match complet, remplacé et remplaçant) ainsi que les temps de jeu, n'avaient aucun impact sur les valeurs de pH, $[\text{HCO}_3^-]$ et $[\text{La}]$ post-match.

Tableau 15 : Réponses physiologiques des joueurs au cours d'un tournoi de Rugby à 7

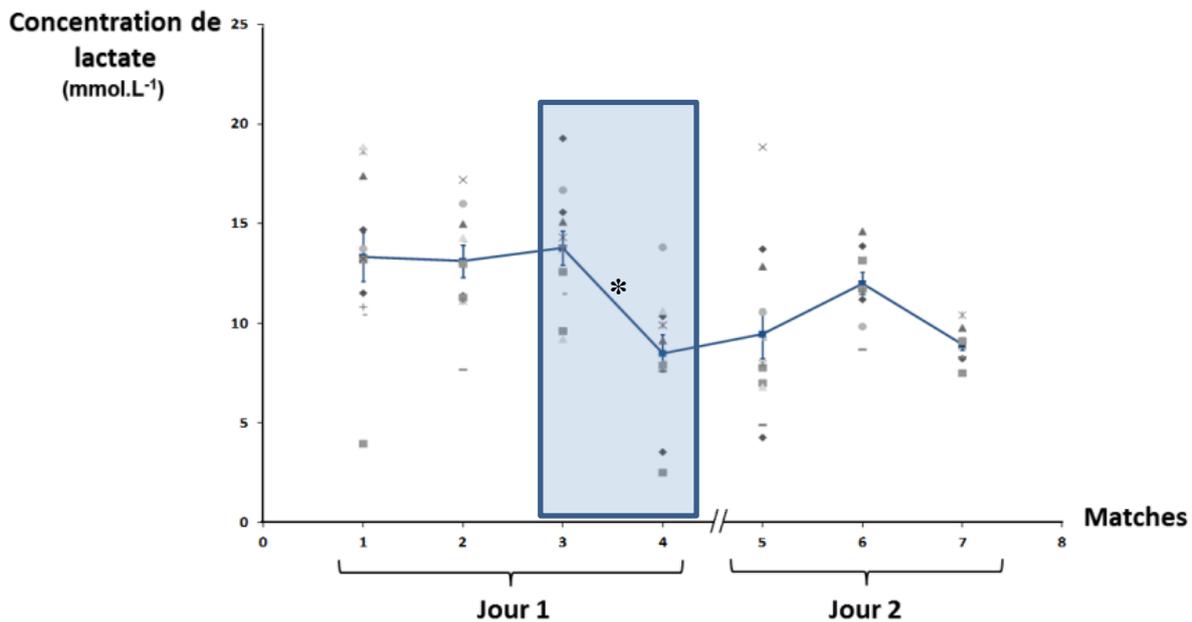
	WM (n=23)				S (n=36)			
	Pré	Post	Taille de l'effet	% de chance	Pré	Post	Taille de l'effet	% de chance
pH	7,41 ± 0,03 [7,36-7,52]	7,29 ± 0,07* [7,10-7,37]	-2,2,± 0,5 (large)	0/0/100 (plus que probable)	7,40 ± 0,03 [7,35-7,53]	7,25 ± 0,08* [7,06-7,37]	-2,5,± 0,4 (large)	0/0/100 (plus que probable)
[HCO₃⁻] (mmol.L⁻¹)	24,8 ± 1,2 [22,7-27,0]	14,0 ± 2,5* [9,5-19,8]	-5,4,± 0,5 (large)	0/0/100 (plus que probable)	24,3 ± 1,6 [21,4-27,9]	13,6 ± 3,9* [8,2-23,7]	-3,6,± 0,4 (large)	0/0/100 (plus que probable)
[La] (mmol.L⁻¹)	2,4 ± 1,0 [1,2-5,5]	11,5 ± 2,9* [6,8-18,9]	4,1,± 0,5 (large)	100/0/0 (plus que probable)	2,5 ± 1,0 [1,0-6,0]	11,9 ± 4,1* [3,5-19,3]	3,1,± 0,4 (large)	100/0/0 (plus que probable)

Légende: Toutes les données sont présentées en moyenne ± écart type (SD) [min-max] ; WM : joueur ayant joué tout le match ; S : remplacé et remplaçant ; [HCO₃⁻] = concentration de bicarbonate ; [La] = concentration de lactate; pré : valeurs de repos ; post : valeurs à 3 minutes après l'arrêt de l'effort ; * : différence significative pré et post-match (p<0,01). Taille de l'effet <0,19, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et >1,20 considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : <1%, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97.5%, probable ; 97.5-99%, très probable ; >99%, plus que probable. Si le pourcentage de chance est > à 5%, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

Au cours du tournoi, pour l'ensemble des joueurs, la moyenne des valeurs nadir en pH et $[\text{HCO}_3^-]$ était de $7,17 \pm 0,06$ et $10,2 \pm 2,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ respectivement et la moyenne des valeurs pics de $[\text{La}]$ s'élevait à $16,3 \pm 2,4 \text{ mmol.L}^{-1}$.

Une cinétique des concentrations de lactate a été établie pour tous les joueurs au fil du tournoi. Cette dernière est représentée par la **Figure 11**.

Figure 11 : Évolution des concentrations de lactate durant un tournoi de Rugby à 7, pour l'ensemble des joueurs



Légende : * différence significative $p < 0,05$, entre le troisième et le quatrième match

Cette figure montre qu'au fil du tournoi, la lactatémie tendrait à diminuer. Cependant, seule la différence entre le troisième et le quatrième match de la première journée est significative ($p < 0,05$).

c. Relation entre les performances physiques et les réponses physiologiques

Le **Tableau 16** représente les relations entre les performances physiques réalisées en match et les variations du pH, $[\text{HCO}_3^-]$ et $[\text{La}]$.

Tableau 16 : Relation entre les performances physiques réalisées sur les trois dernières minutes de jeu et les variations du pH, [HCO₃⁻] et [La] au cours d'un tournoi de Rugby à 7

	Match Complet				Pic d'activité sur 1 min		
	Distance Totale (m)	Distance Relative (m.min ⁻¹)	Distance à haute intensité (m.min ⁻¹)	Distance à très haute intensité (m.min ⁻¹)	Distance Relative (m.min ⁻¹)	Distance à haute intensité (m.min ⁻¹)	Distance à très haute intensité (m.min ⁻¹)
[La] _{post}	0,18	0,22	0,36**	0,27*	0,39**	0,35**	0,39*
pH _{post}	0,05	-0,19	-0,44***	-0,26*	-0,31*	-0,37**	-0,39**
[HCO ₃ ⁻] _{post}	-0,17	-0,23	-0,42**	-0,28*	-0,30*	-0,32*	-0,34**

Légende : [HCO₃⁻] = concentration de bicarbonate; [La] = concentration de lactate ; les données sont présentées avec le coefficient de corrélation de Pearson, r; * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001.

Aucune relation n'a été mise en avant entre les distances, totales et relatives, réalisées en match et les variations des réponses métaboliques. Cependant, des relations petites à modérées ont été mises en évidence entre les distances relatives parcourues à haute intensité et à très haute intensité durant le match et les [La]_{post} (r=0,36 ; p<0,01 et r=0,27 ; p<0,05 respectivement), pH_{post} (r=-0,44 ; p<0,001 et r=-0,26 ; p<0,05 respectivement) et [HCO₃⁻]_{post} (r=-0,42 ; p<0,01 et r=-0,28 ; p<0,05 respectivement).

Des relations significatives ont été observées entre les performances physiques réalisées dans les trois dernières minutes du jeu et les réponses métaboliques. La distance relative parcourue à haute intensité est inversement corrélée (modérément) avec le pH_{post} et le [HCO₃⁻]_{post} (r=-0,37 ; p<0,01 et r=-0,32 ; p<0,05, respectivement) et corrélée (modérément) avec [La]_{post} (r=0,35; p=0,01). La distance totale ainsi que la distance parcourue à très haute intensité durant la minute pic des trois dernières minutes de jeu sont modérément corrélées avec [La]_{post} (r=0,39 ; p<0,01 et r=0,39 ; p<0,05 respectivement).

5. Discussion et Conclusion

Afin de mieux appréhender les exigences physiologiques imposées aux joueurs de Rugby à 7 lors d'un tournoi international, cette étude visait à caractériser les réponses physiologiques des joueurs, au regard de l'activité réalisée dans le jeu.

Les résultats ont montré qu'un joueur international de Rugby à 7 doit réaliser des déplacements en match, avec un rythme supérieur à $90 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ et d'y tolérer plus de $17 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ à haute intensité. En parallèle, cette étude a caractérisé les [La] post-match des joueurs, mais aussi et pour la première fois, l'équilibre acido-basique (pH et $[\text{HCO}_3^-]$) au cours d'un tournoi international de Rugby à 7. Des relations significatives entre les [La] et les pics d'activité enregistrés dans les trois dernières minutes de jeu ont été mises en avant, ce qui suggère que la capacité à fournir de l'énergie via la voie de la glycolyse est une exigence fondamentale dans cette discipline. Enfin, l'équilibre acido-basique modifié de façon significative en fin de match, indique que les joueurs de Rugby à 7 doivent être capables de tolérer un niveau substantiel d'acidose lors des matchs internationaux.

Dans cette étude, la distance relative moyenne parcourue par les joueurs de Rugby à 7 était de $91 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, ce qui est conforme aux études précédentes (Granatelli et coll. 2014, Murray et coll. 2014, Furlan et coll. 2015). Cependant, les distances relatives présentées ici restent inférieures à celles observées dans les études menées au cours du WSS ($106\text{-}120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) (Higham et coll. 2012 et Ross et coll. 2015). Cet écart peut être expliqué par différentes variables contextuelles telles que le niveau de jeu (Européen vs. Championnat du Monde) et le style de jeu des équipes (par exemple, les tactiques, les talents et l'expérience des joueurs). Cependant, les joueurs S parcourent plus de distance à haute intensité que les joueurs WM ($18,8 \pm 8,2$ vs $14,5 \pm 4,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$; $p = 0,026$). Ceci est en accord avec une étude précédente qui avait précisé que la performance moyenne à haute intensité était plus importante (+ 31%) chez les joueurs remplaçants comparativement à ceux qui ont effectué le match complet (Murray et coll. 2014).

Compte tenu de la nécessité pour les joueurs de Rugby à 7 d'effectuer des activités de haute intensité au cours des matchs (Suarez-Arrones et coll. 2015), l'objectif de cette étude était d'étudier les réponses métaboliques des joueurs durant une compétition de niveau international. A la fin de chaque match, les valeurs de [La] ($11,7 \pm 3,7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) étaient similaires aux valeurs observées précédemment ($11,2 \pm 1,4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) (Granatelli et coll. 2014), tout en présentant de grandes variations, allant de $3,5$ à $19,3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (**Figure 11**). La

variabilité de la [La] a été évaluée au travers d'un coefficient de variation (CV, %) au cours du tournoi. La variation intra-individuelle était de $32 \pm 8\%$ alors que la variation inter-matches était de $26 \pm 12\%$. Ces grandes variations pourraient être liées à la méthodologie employée. En effet, les prélèvements sanguins étaient effectués trois minutes après la sortie de chaque joueur ; ce moment pouvait correspondre à une période de faible intensité à la fin d'un match ou suite à la décision de l'entraîneur de faire sortir le joueur, car il venait de réaliser une ou plusieurs séquences de jeu hyper-intense. Cependant, il est important de noter que lors de la compétition, le pic individuel de [La] par joueur au cours du tournoi, était de $16,3 \pm 2,4$ mmol.L⁻¹, ce qui est largement supérieur aux valeurs observées après un match de football ($3,4-7,2$ mmol.L⁻¹) (Krustrup et coll. 2006, Russell et coll. 2012, Harper et coll. 2015) ou encore de hockey sur glace ($2,9-5,5$ mmol.L⁻¹) (Montgomery, 1988). Les données relevées dans notre étude sont similaires à celles observées trois minutes après une course de 400m chez des athlètes de niveau inter-régional ($13,9$ mmol.L⁻¹ dans Duffield et coll. 2005 ; $21,2$ mmol.L⁻¹ dans Hanon et coll. 2010), ce qui suggère une contribution importante de la glycolyse pour la fourniture totale d'énergie. Il a été démontré que les [La] maximales et les vitesses moyennes réalisées au cours d'un 400m, chez des athlètes de haut niveau, étaient largement corrélées ($r=0,85$) (Lacour et coll. 1990). Nous avons observé des relations similaires entre les [La] post-match et la distance parcourue à haute intensité sur l'ensemble du match, ainsi qu'entre la distance relative et la distance parcourue à haute intensité au cours de la minute pic (la minute la plus intense), au sein des trois dernières minutes de jeu. Ainsi, la capacité de produire de l'énergie par l'intermédiaire de la voie métabolique de la glycolyse semble être un facteur lié à la performance au cours de match de Rugby à 7. Il est à noter qu'aucune relation n'a été trouvée entre les [La] et les distances, totales et relatives, parcourues pendant le match, en dépit des relations positives rapportées entre les [La] et ces mêmes paramètres analysés au cours de la minute pic, réalisée dans les trois dernières minutes du match. Par conséquent, les [La] observées en fin de match semblent représentatives de la période précédente de jeu, et témoignent néanmoins d'une forte contrainte énergétique, mais ne peuvent être utilisées comme un critère des besoins énergétiques globaux d'un match de Rugby à 7.

Afin d'approfondir notre analyse, nous avons caractérisé l'évolution de la lactatémie pour l'ensemble des joueurs, au fil du tournoi (**Figure 11**). Cette évolution démontre une diminution significative de la lactatémie sur le dernier match de la première journée du

tournoi. L'hypothèse avancée pour expliquer ce résultat pourrait être celle d'une plausible déplétion glyco-génique au fil de la journée qui ferait que la glycolyse fonctionnerait à moindre régime et qu'elle produirait donc moins de lactate. Or, les protocoles nutritionnels durant la compétition étant construits pour éviter ce genre de phénomène, cette hypothèse devrait pouvoir être écartée si les joueurs ont respecté le protocole établi. De fait, nous pouvons évoquer également l'hypothèse de l'impact du contexte et de l'engagement des joueurs (Paul et coll. 2015). En effet, au cours de ce tournoi, ce quatrième match de la première journée avait été joué contre l'équipe Allemande ; équipe classée dans les dernières du classement européen et, l'équipe de France, en ayant gagné ses trois premiers matchs, était déjà (ou presque), qualifiée pour jouer le haut du tableau. De fait, jouer un adversaire faible, au cours d'un match finalement sans enjeu, peut s'avérer plus facile, ce qui engendrerait peut-être moins de course à haute intensité et donc moins de sollicitations de la glycolyse, pour aboutir in fine, à une production de lactate moins importantes. Néanmoins, l'évolution de la lactatémie au cours de la deuxième journée nous inciterait à rester vigilants.

Cette étude a été la première à présenter des données de pH et des $[\text{HCO}_3^-]$ dans cette discipline. Les valeurs étaient significativement diminuées post-match. Le pH est descendu jusqu'à 7,20 chez 8 joueurs sur les 12 testés ; les $[\text{HCO}_3^-]$ elles, étaient inférieures, au moins une fois, à $11,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ chez 9 des 12 des joueurs. Ces résultats viennent donc contraster certaines données précédentes en sport collectif. En effet, les valeurs de pH post-match étaient inférieures à celles observées dans le football après 90 min et 120 min de jeu (7,34-7,42) (Russell et coll. 2012, Harper et coll. 2015). Cependant, les valeurs de pH mesurées s'approchaient des valeurs mesurées quatre minutes après un 300m ($7,16 \pm 0,05$) (Hanon et coll. 2010). Ces informations indiquent que tous les joueurs de Rugby à 7 doivent être prêts à tolérer des niveaux importants d'acidose au moins une fois dans un tournoi. Il a été démontré que de forts taux intermédiaires d'acidose peuvent nuire à la performance d'un athlète sur 400m (Hanon et coll. 2010) ; il en est de même au cours d'activités de répétitions de sprints (Glaister et coll. 2005), essentiellement à cause de mécanismes indirects tels que son rôle potentiel dans l'inhibition de la glycolyse (Glaister et coll. 2005) ou par la stimulation des groupes III et IV des afférences musculaires, qui peuvent donc être responsables d'une fatigue centrale (Knicker et coll. 2011). D'autres études devront être nécessaires pour confirmer si la perturbation de l'équilibre acido-basique observée dans cette étude pourrait être liée à la diminution de performances qui peut s'observer en fin de match en Rugby à 7 selon les études

d'Higham et coll. (2012) et de Granatelli et coll. (2014). Cependant, afin de limiter l'acidose et sa capacité potentielle à contribuer à la diminution des performances, les joueurs devront alors faire en sorte de développer une capacité tampon musculaire spécifique pour cette discipline.

Pour conclure, les éléments apportés sur les performances physiques, les [La] et le statut acido-basique observé pour la première fois dans le Rugby à 7 lors d'un tournoi international, indiquent clairement que les programmes de préparation physique doivent être conçus spécifiquement pour les besoins intenses de ce sport, avec un accent particulier sur la mobilisation très élevée de la glycolyse. Les seuils individualisés de vitesse doivent fournir des informations plus précises sur les charges réalisées par les joueurs (Lovell et Abt. 2013) et pourront être utiles aux entraîneurs et préparateurs physiques pour l'individualisation de l'entraînement. En effet, les séquences de très haute intensité devront faire partie de l'entraînement (avec 8-10 m.min⁻¹ à très haute intensité) tout en maintenant un stimulus aérobie important (90-110 m.min⁻¹) pour préparer au mieux les joueurs, puisque les résultats montrent que ces derniers doivent être en mesure de faire face à cette demande de haute intensité au cours des matchs. En outre, la présente étude a mis en évidence une modification importante de l'équilibre acido-basique lors d'un tournoi international de Rugby à 7. Par conséquent, le contenu en protéines sarcolemmales impliquées dans la régulation du pH (Juel, 2008) et la capacité tampon du muscle (Edge et coll. 2013) devront être augmentés en Rugby à 7 afin de limiter l'accumulation de protons et de retarder la survenue d'une éventuelle fatigue au cours d'un match. En outre, compte tenu de l'exigence physique de course effectuée au-delà de la VMA, et qu'en parallèle, certaines études ont démontré que la capacité à répéter des sprints dépend de la resynthèse de la PCr par le système aérobie (Girard et coll. 2011), la capacité oxydative musculaire devra être développée. Alors que les stratégies d'entraînement se multiplient pour tenter d'améliorer chacun des paramètres de la performance, les entraînements à haute intensité ainsi que la répétition de ces actions devraient être mis en place de façon à stimuler suffisamment l'expression et la fonction des transporteurs sarcolemmales (Kristensen et coll. 2004, Messonnier et coll. 2007, Bishop et coll. 2008), ainsi que la capacité tampon musculaire (Edge et coll. 2013). Les préparateurs physiques ou scientifiques du sport devront tenir compte de ces spécificités lors de l'analyse et de la conception des entraînements des joueurs de Rugby à 7.

Limite de l'étude : Malgré les résultats originaux de cette étude, cette dernière contient malgré tout, certaines limites. Tout d'abord, une taille d'échantillon plus importante (par exemple deux, trois équipes sur deux, trois tournois) serait nécessaire pour confirmer nos résultats. En second lieu, cette analyse de la performance d'une seule équipe pourrait ne pas être transposable à une autre équipe en raison de la forte influence de la tactique d'une équipe comme de la technique individuelle de chaque joueur. Enfin, même si notre échantillon concerne des joueurs de haut-niveau, les données fournies dans cette étude sont issues d'un tournoi international certes, mais uniquement de niveau Européen. L'activité des joueurs sur le WSS étant plus élevée (Higham et coll. 2012, Ross et coll. 2015), en conséquence, nous pouvons imaginer que les perturbations métaboliques pourraient être encore plus élevées. Des études évaluant les [La] et les perturbations acido-basique suite aux matchs du WSS chez des joueurs de Rugby à 7 seraient donc les bienvenues.

Les réponses physiologiques en Rugby à 7 : l'essentiel

✓ Les performances physiques

La distance relative parcourue est de $91 \pm 13 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ avec des valeurs minimales et maximales respectivement de 65 et $122 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Les joueurs ayant joué tout le match et les remplaçants/remplacés ne présentent aucune différence significative lorsque leur distance parcourue est relativisée au temps de jeu, bien que les remplaçants parcourent plus de distance à haute intensité.

✓ Les réponses physiologiques

Les moyennes post-match du pH, des $[\text{HCO}_3^-]$ et des $[\text{La}]$ étaient de $7,26 \pm 0,08$, $13,8 \pm 3,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ et $11,7 \pm 3,7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivement.

Les diminutions du pH et de la $[\text{HCO}_3^-]$, ainsi que l'augmentation de la $[\text{La}]$ post-match en comparaison au pré-match, étaient significatives ($p < 0,001$).

Il n'y a pas d'impact du statut des joueurs ni des temps de jeu, sur les réponses métaboliques.

La moyenne des valeurs nadir, par joueur, sur l'ensemble du tournoi, du pH et de la $[\text{HCO}_3^-]$ étaient de $7,17 \pm 0,06$ et $10,2 \pm 2,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivement, et les valeurs pics de $[\text{La}]$ s'élevaient à $16,3 \pm 2,4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

✓ Relation entre les performances physiques et les réponses métaboliques

Des relations jugées petites à modérées ont émergé entre les distances relatives parcourues à haute intensité et à très haute intensité durant le match et les $[\text{La}]_{\text{post}}$, le pH_{post} et les $[\text{HCO}_3^-]_{\text{post}}$.

Dans les trois dernières minutes du jeu, la distance relative parcourue à haute intensité est inversement corrélée (modérément) avec le pH_{post} et la $[\text{HCO}_3^-]_{\text{post}}$ et corrélée (modérément) avec la $[\text{La}]_{\text{post}}$. La distance totale ainsi que la distance parcourue à très haute intensité durant la minute pic de ces trois dernières minutes de jeu sont modérément corrélées avec la $[\text{La}]_{\text{post}}$.

**Chapitre 4. ETUDE 3 : Analyse des répétitions d'actions
de haute intensité en match international
de Rugby à 7**

Publication post-thèse en perspective, associée à cette étude :

COUDERC.A, THOMAS.C, HANON.C, PEETERS.A, PISCIONE.J, ROBINEAU.J,
LACOME.M. Analysis of repeated high intensity actions in international rugby sevens match-
play

1. Objectif de l'étude 3

La revue de littérature de ce travail de thèse nous a permis de mettre en évidence que l'analyse des répétitions d'actions intenses était déjà très avancée en rugby à XIII, mais n'en était qu'à ses débuts en Rugby à 7. En effet, seul l'enchaînement des courses de sprint avait été observé ; il a d'ailleurs été montré qu'un joueur de Rugby à 7 peut avoir à enchaîner des répétitions de séquences de sprints en match, et ce toutes les 280 secondes.

L'objectif ici est donc d'appréhender maintenant le type et la distribution des actions de haute intensité en match de Rugby à 7. Afin d'approfondir les précédents travaux, deux paramètres nous paraissent incontournables pour cette analyse, à savoir : (1) l'utilisation de seuils individualisés pour décrire les mouvements des joueurs, car nous avons pu observer qu'ils fournissent des informations plus précises sur les charges réalisées par ces derniers (Couderc et coll. 2016) ; (2) la prise en compte d'une tâche de combat comme une action de haute intensité car celui-ci tient une place considérable dans l'analyse de l'activité rugby (Gabbett et coll. 2015). Prendre en compte ces deux paramètres dans l'analyse de l'activité Rugby à 7, n'a jamais été réalisée jusqu'à présent. De plus, une attention particulière sera apportée à l'enchaînement des actions de haute intensité afin de déterminer si le Rugby à 7, correspond ou non, à une discipline de répétitions d'actions de haute intensité (démonstration qui n'a jamais été apportée dans ce sport). Enfin, l'observation des performances se réalisera en fonction des postes des joueurs (demi de mêlée, avant, arrière) mais aussi au regard de chacune des mi-temps d'un match.

Ainsi, nous avons pour objectif pour cette troisième étude de caractériser les actions de haute intensité au cours de matchs internationaux de Rugby à 7, afin de comprendre les exigences et les différentes sollicitations physiques et énergétiques de cette discipline, mais aussi de pouvoir étayer les procédures d'entraînement de l'équipe de France masculine.

2. Le point de vue d'un joueur professionnel

Terry Bouhraoua, capitaine de l'équipe de France, nous a révélé ses impressions et son sentiment sur les efforts à réaliser en match de Rugby à 7.



« L'une des grandes caractéristiques de cette discipline : c'est la répétition d'efforts maximaux dans un match. C'est aussi la raison pour laquelle le rugby à 7 est selon moi, une discipline très exigeante. Nous sommes tellement peu nombreux sur le terrain, que l'on se doit d'être capable de tout faire !

Pour être un bon joueur de rugby à 7, il faut avoir cette capacité à pouvoir reproduire plusieurs fois dans un même match, des efforts ainsi que des tâches à très hautes intensités, telles que des courses de placement, de remplacement, des plaquages, des passes longues et d'autres gestes techniques que nécessite le rugby. Tout cela, avec peu de temps de récupération entre les tâches.

Je ne connais pas les statistiques sur le sujet, mais ce que je connais de ce rugby, contrairement au XV, c'est que les temps disponibles pour récupérer en match, sont très réduits, parfois inexistant...à tel point qu'on a souvent l'impression que tout s'enchaîne !
La thèse d'Anthony pourra-t-elle nous permettre de comprendre plus encore la spécificité du rugby à 7 et de ses répétitions d'efforts intenses ? Je ne sais pas, mais je l'espère ! »

FRANCE 7
#SOUTIENSLE7

Terry BOUHRAOUA
Joueur Professionnel France 7 FFR

- Né le : 29.08.1987
- 1.69m - 65kg
- Poste : Demi de mêlée
- Clubs : CA Brive, Stade Français, AS Béziers
- Joueur professionnel à la FFR (depuis 2010)
- Jeux Olympiques de Rio (2016)

3. Méthodologie

a. Population

Quinze joueurs de l'équipe de France ont participé à cette étude (âge : $25,8 \pm 3,6$ ans ; taille : $181,9 \pm 10,1$ cm ; masse corporelle : $88,9 \pm 13,5$ kg).

b. Procédures expérimentales

Le circuit mondial "World Sevens Series" a été l'objet de toutes nos observations sur les saisons 2012-2013 et 2013-2014, au cours duquel l'équipe de France s'est classée respectivement 9^{ème} et 10^{ème}. Seuls les joueurs ayant participé à l'intégralité d'un match complet ont été inclus dans l'analyse, les remplaçants et remplacés n'étant donc pas pris en compte. Sur 44 matchs, un total de 225 observations a été comptabilisé. Les données obtenues ont été présentées par poste.

b1. Actions de haute intensité

Les actions de haute intensité ont été quantifiées puis comparées en fonction des postes des joueurs. Celles-ci se déclinaient par les tâches suivantes :

- . courses à haute intensité (courses $>$ à VMA et $<$ à $85\%V_{\max}$),
- . accélérations supérieures à $2,5\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$,
- . courses en sprint (courses $>$ à $85\% V_{\max}$),
- . activités de combat : plaquages, rucks, contacts, mêlées ainsi que toutes les tâches dites mixtes : lorsque une tâche de combat s'enchaîne avec une autre tâche (exemple : accélération + combat, VMA + combat, sprint + combat) (sans prise en compte de la qualité de la tâche effectuée).

b2. Séquence de répétitions d'actions de haute intensité et différences par poste

Comme proposé par Gabbett et coll. (2015) en rugby à XIII, une séquence de répétitions d'actions de haute intensité était comptabilisée lorsqu'au moins trois actions de haute intensité (ou plus) s'enchaînaient avec moins de 21 secondes de récupération. Nous continuerons à utiliser la même abréviation « *RHIE* » (de l'anglais : « *repeated high intensity exercise* »), définie par les précédents auteurs, pour caractériser ces séquences. Ainsi, au sein d'une séquence de *RHIE*, nous appréhenderons les durées de récupération entre la fin de la première action de haute intensité et la dernière de la séquence. Ici, il est important de noter qu'au cours de la période dite de « récupération », les joueurs pouvaient être à l'arrêt comme en course de faible intensité à intensité modérée (inférieure à la VMA). Les séquences de *RHIE* ont été ensuite quantifiées puis comparées au regard du poste tenu par les joueurs.

b3. Évolution des actions de haute intensité et des séquences de RHIE au fil du match

Ici, nous avons observé l'évolution des apparitions des actions de haute intensité et des séquences de *RHIE* entre la première et la seconde mi-temps. La durée des récupérations au sein des séquences de *RHIE* a aussi été observée.

c. Synthèse des tests utilisés

Le tableau ci-dessous présente les tests et les mesures (décrits dans la méthodologie générale de ces travaux de thèse), qui ont été utilisés pour cette étude.

Tests/Outils	Mesures/Analyses
Léger-Boucher (réalisé à 4 reprises)	VMA
80 m (réalisé à 4 reprises)	V_{\max}
Analyse par GPS	Nombre d'accélération $> 2,5\text{m.s}^{-2}$, nombre de courses à haute intensité, nombre de courses en sprint
Analyse Vidéo	Tâches de combat (plaquages, rucks, contacts, mêlées) (sans critères de réussite)
Statistique	Modèle linéaire généralisé. Statistiques inférentielles

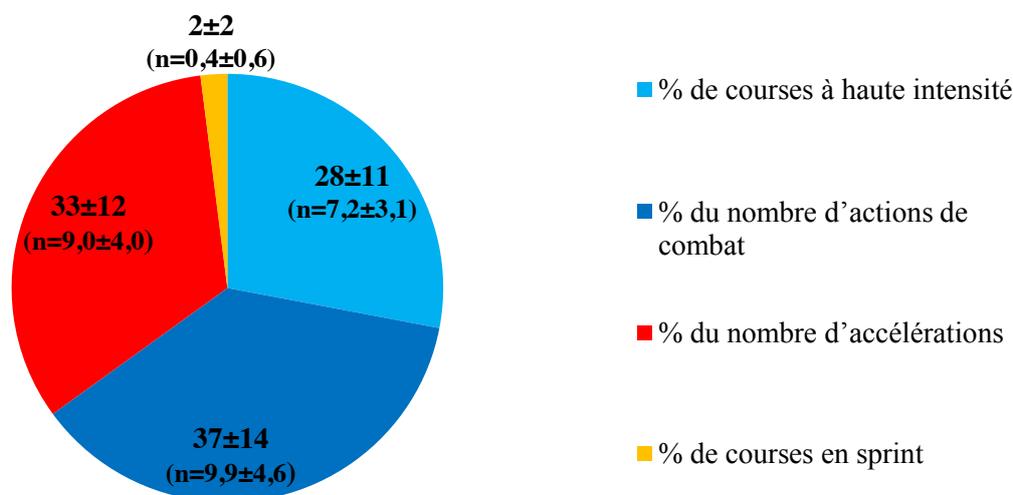
4. Les résultats principaux

4.1 – Distribution des actions de haute intensité

Les analyses effectuées sur 44 matchs montrent qu'un joueur de Rugby à 7 réalise en moyenne $26,6 \pm 7,2$ actions de haute intensité par match.

La **Figure 12** présente le nombre (n) et les parts en pourcentage de chaque type d'actions de haute intensité (\pm l'écart-type), réalisée au regard du nombre total de ces dernières, par match et par joueur.

Figure 12 : Distribution des actions de haute intensité par match, par joueur, en Rugby à 7



Légende : *n* = nombre total d'actions de haute intensité ; % : pourcentage exprimé en rapport du nombre total d'actions de haute intensité ; Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type).

En utilisant l'analyse statistique proposée par Hopkins et coll. (2009), les résultats montrent que le pourcentage de sprints est inférieur aux pourcentages d'actions de combat, d'accélération et de courses à haute intensité (effets larges ; % de chance : plus que probable). Le pourcentage de combat est supérieur à celui des courses à haute intensité (effet modéré ; % de chance : plus que probable). Le pourcentage des accélérations est plus important que celui des courses à haute intensité (effet modéré ; % de chance : très probable).

La distribution des actions de haute intensité et les différences par poste sont présentées dans le **Tableau 17**. La part de chaque type d'action de haute intensité a été exprimée en pourcentage du nombre total de ces dernières.

Tableau 17 : Distribution des actions de haute intensité par joueur et par match, en Rugby à 7. Différences en fonction des postes.

	Demi de mêlée (n = 44)	Avant (n = 104)	Arrière (n = 77)	Différence Demi de mêlée vs. Arrière		Différence Demi de mêlée vs. Avant		Différence Avant vs. Arrière	
				Taille de l'effet	% de chance	Taille de l'effet	% de chance	Taille de l'effet	% de chance
Nombre Total d'actions de haute intensité (n)	23,4 ± 7,0	26,5 ± 7,3	28,3 ± 7,1	-0,70; ± 0,44 (modéré)	0/3/97 (probable)	-0,43; ± 0,42 (petit)	1/16/83 (probable)	-0,25; ± 0,35 (petit)	2/38/60 (possible)
% du nombre d'accélération	32 ± 15	36 ± 12	30 ± 11	0,15; ± 0,44 (trivial)	43/46/11 (pas clair)	-0,34; ± 0,42 (petit)	3/28/69 (possible)	0,54; ± 0,35 (petit)	95/5/5 (probable)
% de courses à haute intensité	30 ± 13	27 ± 7	28 ± 9	0,19; ± 0,44 (trivial)	49/42/9 (pas clair)	0,29; ± 0,42 (petit)	64/33/3 (possible)	-0,14; ± 0,35 (trivial)	5/57/38 (possible)
% de courses en sprint	3 ± 3	1 ± 2	2 ± 2	0,27; ± 0,44 (petit)	60/35/5 (possible)	0,87; ± 0,42 (modéré)	99/1/0 (très probable)	-0,56; ± 0,35 (petit)	0/5/95 (probable)
% du nombre d'actions de combat	35 ± 16	36 ± 15	40 ± 15	-0,33; ± 0,44 (petit)	3/29/68 (possible)	-0,01; ± 0,42 (trivial)	15/54/31 (pas clair)	-0,26; ± 0,35 (petit)	2/37/61 (possible)

Légende : % : pourcentage exprimé par rapport au nombre total d'actions de haute intensité ; Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type); Taille de l'effet <0,19, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et >1,20 considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : <1%, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97,5%, probable ; 97,5-99%, très probable ; >99%, plus que probable. Si le pourcentage de chance est > à 5%, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

Les résultats montrent que les arrières réalisent un nombre total d'actions de haute intensité plus important ($6,8 \pm 9,5\%$) que les avants (effet petit ; % de chance : possible). Les arrières et les avants réalisent plus d'actions de haute intensité ($21,3 \pm 13,2\%$ et $11,9 \pm 11,4\%$ respectivement) que les demis de mêlée (avec respectivement des effets modéré et petit ; % de chance : probable).

Concernant la part en pourcentage de chaque action de haute intensité au regard du nombre total de ces dernières, statistiquement, les différences sont les suivantes :

- Différences Demi de mêlée vs. Arrière

Les arrières présentent un pourcentage d'actions de combat plus élevé ($13,2 \pm 17,5\%$) que les demis de mêlée (effet petit ; % de chance : possible), cependant, les demis de mêlée ont un pourcentage de courses en sprint plus important ($6,7 \pm 15,6\%$) (effet petit ; % de chance : possible).

- Différences Demi de mêlée vs. Avant

Les demis de mêlée présentent un pourcentage de sprints plus élevé ($231,7 \pm 109,7\%$) (effet modéré ; % de chance : très probable) et un pourcentage de course à haute intensité plus important ($13,1 \pm 18,5\%$) que les avants (effet petit ; % de chance : possible), cependant, les avants possèdent un pourcentage d'accélération plus élevé ($11,8 \pm 14,5\%$) (effet petit ; % de chance : possible).

- Différences Avant vs. Arrière

Les arrières présentent un pourcentage de courses à haute intensité et d'actions de combat plus élevé ($5,5 \pm 13,8\%$ et $9,9 \pm 13,4\%$) que les avants (avec respectivement des effets : trivial et petit ; % de chance : possible). Les arrières présentent un pourcentage d'accélération moins élevé ($17,1 \pm 11,0\%$) (effet petit ; % de chance : probable), mais un pourcentage de sprint plus important ($145,3 \pm 90,2\%$) (effet petit ; % de chance : probable) que les avants.

Synthèse des résultats principaux

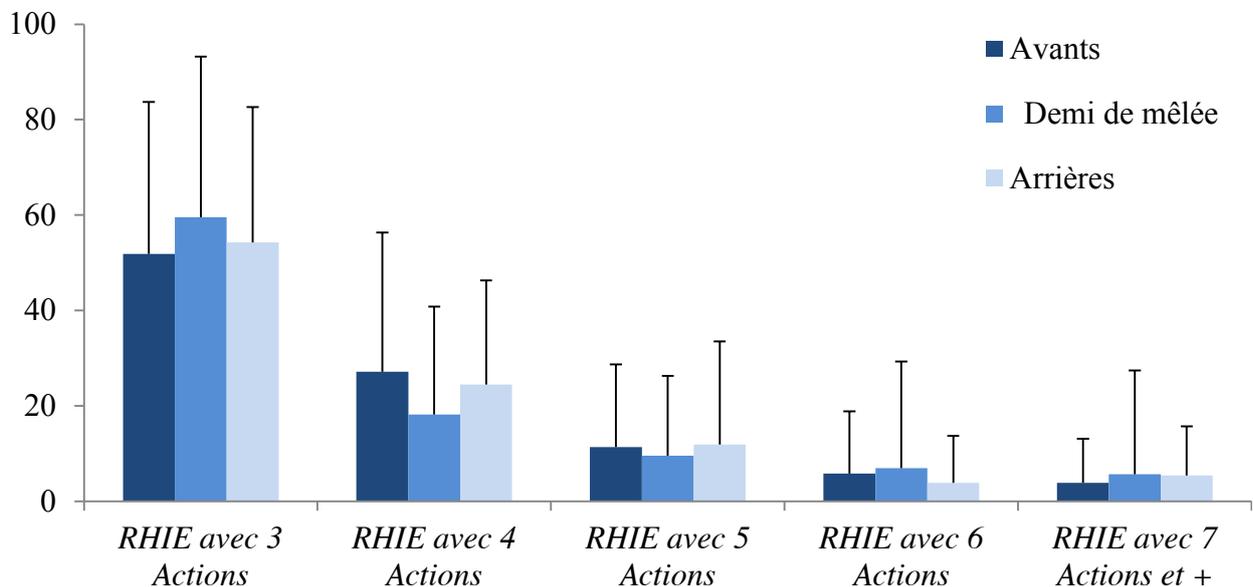
- . Le pourcentage du nombre de sprints dans les actions de haute intensité est largement inférieur aux pourcentages d'actions de combat, d'accélération et de courses à haute intensité.
- . Le pourcentage des accélérations est plus important que celui des courses à haute intensité.
- . Les demis de mêlée présentent un pourcentage de sprints plus élevé que les avants.
- . Les avants présentent un pourcentage d'accélération plus élevé que les arrières, alors que les arrières auraient un pourcentage de courses en sprint plus important que les avants.

4-2 - Types de séquence de RHIE

Par match, un joueur de Rugby à 7 réalise en moyenne $3,4 \pm 1,7$ séquences de RHIE. La durée moyenne de ces séquences de RHIE est de $39,0 \pm 11,2$ secondes et la durée moyenne des récupérations au sein de ces séquences est de $8,8 \pm 2,4$ secondes.

La **Figure 13** ci-après, présente la répartition des séquences de RHIE en fonction du nombre d'actions de haute intensité qu'elles contiennent.

Figure 13 : Répartition des séquences de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE) en fonction du nombre d'actions qu'elles contiennent, par poste et par match.

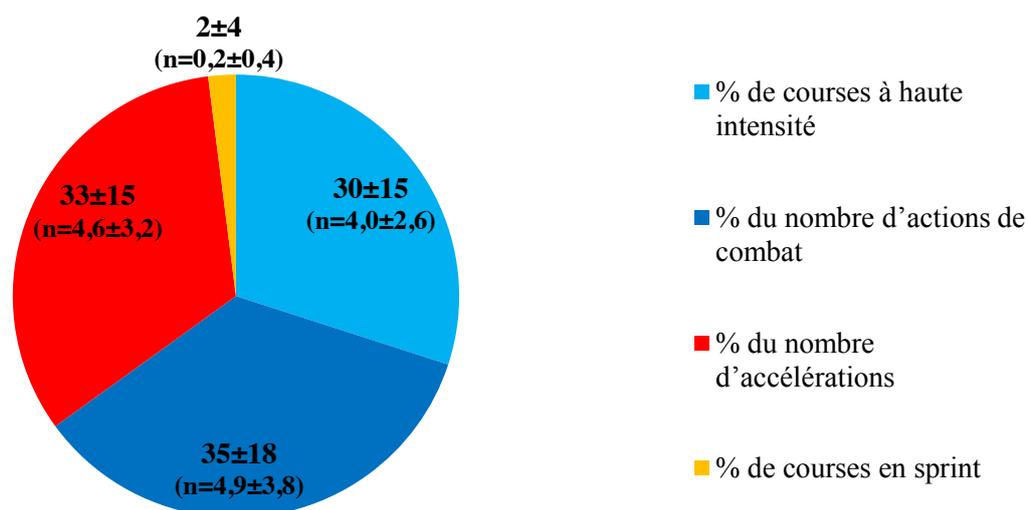


Légende : % : pourcentage exprimé par rapport au nombre total de séquences de RHIE ; Les données sont présentées en moyenne \pm SD (l'écart-type) ; Demi de mêlée (n)=44 ; Avant (n)=104 ; Arrière (n)=77

Les séquences de RHIE contiennent majoritairement trois actions de haute intensité (effet modéré ; % de chance : très probable) avec des pourcentages respectifs pour les avants, les arrières et les demis de mêlée de 52%, 54% et 60% en rapport du nombre total de séquences réalisées.

La **Figure 14** présente le nombre (n) et les parts en pourcentage de chaque type d'actions de haute intensité au sein d'une séquence de *RHIE*, par match et par joueur.

Figure 14 : Distribution des actions de haute intensité par match et par joueur, au sein d'une séquence de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE), en Rugby à 7.



Légende : n = nombre total d'actions de haute intensité au sein d'une séquence de *RHIE* ; % : pourcentage exprimé par rapport au nombre total de séquences de *RHIE* ; Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type).

Au sein d'une séquence de *RHIE*, le pourcentage de sprints est inférieur aux pourcentages d'actions de combat, d'accélérations et de courses à haute intensité (effet large ; % de chance : plus que probable).

Les séquences de *RHIE* ont par ailleurs été quantifiées et comparées en fonction des postes. Leur durée moyenne ainsi que la durée moyenne des récupérations au sein des séquences, ont été observées. Les résultats sont présentés dans le **Tableau 18**.

Tableau 18 : Types de séquence de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE), selon les postes, pour les joueurs ayant joué un match complet en Rugby à 7.

	Demi de mêlée (n = 44)	Avant (n = 104)	Arrière (n = 77)	Différence Demi de mêlée vs. Arrière		Différence Demi de mêlée vs. Avant		Différence Avant vs. Arrière	
				Taille de l'effet	% de chance	Taille de l'effet	% de chance	Taille de l'effet	% de chance
Nombre total de séquences de RHIE (n)	3,1 ± 1,7	3,2 ± 1,7	3,8 ± 1,7	-0,38; ± 0,44 (petit)	1/23/76 (probable)	-0,05; ± 0,42 (trivial)	16/56/28 (pas clair)	-0,33; ± 0,35 (petit)	1/26/73 (possible)
Durée moyenne de séquence de RHIE (sec)	36,7 ± 16,5	39,1 ± 9,8	40,3 ± 9,1	-0,29; ± 0,44 (petit)	6/32/62 (pas clair)	-0,19; ± 0,42 (trivial)	10/40/49 (pas clair)	-0,13; ± 0,35 (trivial)	6/56/38 (pas clair)
Durée moyenne de récupération dans une séquence de RHIE (sec)	7,8 ± 2,4	8,9 ± 2,4	9,2 ± 2,5	-0,53; ± 0,44 (petit)	0/10/90 (probable)	-0,46; ± 0,42 (petit)	1/15/85 (probable)	-0,09; ± 0,35 (trivial)	9/60/31 (pas clair)
% d'accélération dans une séquence de RHIE	31 ± 16	37 ± 16	29 ± 13	0,11; ± 0,44 (trivial)	36/49/15 (pas clair)	-0,36; ± 0,42 (petit)	1/24/75 (probable)	0,49; ± 0,35 (petit)	92/8/0 (probable)
% de courses à haute intensité dans une séquence de RHIE	32 ± 16	30 ± 15	30 ± 14	0,14; ± 0,44 (trivial)	41/47/12 (pas clair)	0,15; ± 0,42 (trivial)	43/48/9 (pas clair)	0,02; ± 0,35 (trivial)	20/65/15 (pas clair)
% de sprints dans une séquence de RHIE	2,3 ± 4,7	0,7 ± 2,7	2,5 ± 4,5	-0,06; ± 0,44 (trivial)	17/52/31 (pas clair)	0,45; ± 0,42 (petit)	79/19/2 (probable)	-0,51; ± 0,35 (petit)	0/8/92 (probable)
% d'actions de combat dans une séquence de RHIE	35 ± 19	33 ± 17	38 ± 19	-0,17; ± 0,44 (trivial)	9/46/45 (pas clair)	0,11; ± 0,42 (trivial)	38/51/12 (pas clair)	-0,29; ± 0,35 (petit)	1/33/66 (possible)

Légende : % : pourcentage exprimé par rapport au nombre total d'actions de haute intensité dans une RHIE ; Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type). Taille de l'effet <0,19, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et >1,20 considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : <1%, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97,5%, probable ; 97,5-99%, très probable ; >99%, plus que probable. Si le pourcentage de chance est > à 5%, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

L'étude statistique (Hopkins et coll. 2009), souligne que les arrières réalisent plus de séquences de *RHIE* ($17,5 \pm 18,6\%$) que les avants (effet petit ; % de chance : possible) et qu'ils en réalisent plus ($21,0 \pm 23,9\%$) que les demis de mêlée (effet petit ; % de chance : probable). Il n'est pas clair qu'il puisse y avoir de différence concernant la durée moyenne des séquences de *RHIE* en fonction des postes. Cependant, les arrières et les avants enregistrent une durée de récupération au sein des séquences de *RHIE* plus importante ($17,0 \pm 13,8\%$ et $12,3 \pm 11,2\%$) que celle des demis de mêlée (effet petit ; % de chance : probable).

Concernant la part en pourcentage des actions de haute intensité au sein des *RHIE*, statistiquement, les différences sont les suivantes :

- Différences demi de mêlée vs. Arrière

Les différences entre ces deux postes ne sont statistiquement pas claires.

- Différences demi de mêlée vs. Avant

Les demis de mêlée présentent un pourcentage de sprints plus élevé ($235,0 \pm 214,7\%$) que les avants (effet petit ; % de chance : probable), cependant les avants ont un pourcentage d'accélération plus important ($16,3 \pm 18,7\%$) (effet petit ; % de chance : probable).

- Différences Avant vs. Arrière

Les arrières présentent un pourcentage d'actions de combat plus important ($15,9 \pm 19,5\%$) que les avants (effet petit ; % de chance : possible). Les avants présentent un pourcentage d'accélération plus élevé ($20,2 \pm 14,4\%$) que les arrières (effet petit ; % de chance : probable), bien que les arrières présentent un pourcentage de sprints plus important ($278,1 \pm 189,3\%$) (effet petit ; % de chance : probable).

Synthèse des résultats principaux

. Un joueur de Rugby à 7 réalise en moyenne $3,4 \pm 1,7$ séquences de *RHIE*, dont la durée moyenne est de $39,0 \pm 11,2$ sec et la durée moyenne des récupérations au sein de cette séquence est de $8,8 \pm 2,4$ sec.

. Au sein d'une séquence de *RHIE*, le pourcentage de sprints est inférieur aux pourcentages d'actions de combat, d'accélération et de courses à haute intensité.

. Les arrières réalisent plus de séquences de *RHIE* que les avants et les demis de mêlée.

Les demis de mêlée ont une durée de récupération au sein des séquences de *RHIE* plus faible.

. Les séquences de *RHIE* contiennent le plus souvent trois actions de haute intensité.

4.3 – Evolution par mi-temps, de la distribution des actions de haute intensité

L'évolution de la distribution des actions de haute intensité en fonction des postes et des mi-temps d'un match de Rugby à 7, est présentée dans le **Tableau 19**.

Tableau 19 : Comparaison de la distribution des actions de haute intensité par joueur et par mi-temps (MT), en Rugby à 7. Différences en fonction des postes.

	Demi de mêlée				Avant				Arrière			
	MT1	MT2	Taille de l'effet	% de chance	MT1	MT2	Taille de l'effet	% de chance	MT1	MT2	Taille de l'effet	% de chance
Nombre d'actions de haute intensité (n)	11,9 ± 4,5	11,5 ± 5,3	0,09; ± 0,50 (trivial)	36/47/17 (pas clair)	13,8 ± 4,0	12,8 ± 4,6	0,23; ± 0,32 (petit)	57/42/1 (possible)	14,3 ± 3,9	14,4 ± 3,8	-0,01; ± 0,37 (trivial)	18/62/20 (pas clair)
% du nombre d'accélération	30,5 ± 18,5	33,2 ± 16,0	-0,15; ± 0,05 (trivial)	13/43/44 (pas clair)	37,7 ± 15,3	34,6 ± 13,6	0,21; ± 0,32 (petit)	53/45/2 (possible)	31,0 ± 13,3	28,7 ± 14,5	0,16; ± 0,37 (trivial)	44/50/6 (possible)
% du nombre de courses de haute intensité	34,7 ± 17,4	23,3 ± 15,0	0,69; ± 0,50 (modéré)	95/5/0 (probable)	28,3 ± 14,1	24,6 ± 13,1	0,27; ± 0,32 (petit)	64/35/1 (possible)	30,1 ± 14,3	25,7 ± 13,1	0,32; ± 0,37 (petit)	71/28/1 (possible)
% du nombre de courses en sprint	1,8 ± 3,6	4,1 ± 7,6	-0,38; ± 0,50 (petit)	3/24/73 (possible)	0,9 ± 2,6	0,9 ± 3,4	0,02; ± 0,32 (trivial)	14/69/17 (pas clair)	1,6 ± 3,6	2,4 ± 3,7	-0,21; ± 0,37 (petit)	4/44/53 (possible)
% du nombre d'actions de combat	33,0 ± 19,5	39,4 ± 18,2	-0,33; ± 0,50 (petit)	4/28/68 (possible)	33,1 ± 15,1	40,0 ± 17,5	-0,42; ± 0,32 (petit)	0/13/87 (probable)	37,3 ± 15,1	43,3 ± 17,4	-0,36; ± 0,37 (petit)	1/22/77 (probable)

Légende : MT : mi-temps ; % : pourcentage exprimé par rapport au nombre total d'actions de haute intensité ; Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type). % : pourcentage ; Taille de l'effet <0,19, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et >1,20 considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : <1%, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97.5%, probable ; 97.5-99%, très probable ; >99%, plus que probable. Si le pourcentage de chance est > à 5%, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

Seuls les avants réalisent moins d'actions de haute intensité en seconde période ($7,4 \pm 10,2\%$) comparativement à la première (effet petit ; % de chance : possible). Il n'est pas clair que le nombre d'actions de haute intensité évolue entre la première et la seconde période chez les demis de mêlée et les arrières.

Concernant la part en pourcentage de chaque action de haute intensité au regard du nombre total de ces dernières, les différences sont les suivantes :

- Différences par mi-temps pour les demis de mêlée

Les demis de mêlée ont un pourcentage d'actions de combat ($19,3 \pm 28,3\%$) et de courses en sprint ($125,9 \pm 162,8\%$) plus élevés en seconde période comparé à la première (effets petits ; % de chance : possible). Ils réalisent moins de courses de haute intensité ($32,8 \pm 23,2\%$) en seconde période (effet modéré ; % de chance : probable).

- Différences par mi-temps pour les avants

Les avants présentent des pourcentages de courses de haute intensité ($13,0 \pm 15,5\%$) et d'accélération ($8,3 \pm 12,4\%$) moins importants en seconde période (effets petits ; % de chance : possible). Ils présentent un pourcentage d'actions de combat plus important ($20,7 \pm 16,0\%$) en seconde période (effet petit ; % de chance : probable).

- Différences par mi-temps pour les arrières

Les arrières présentent des pourcentages de course de haute intensité ($14,8 \pm 17,0\%$) et d'accélération ($7,5 \pm 16,8\%$) moins importants en seconde période (effet petit ; % de chance : possible), avec cependant un pourcentage plus élevé de courses en sprint ($50,4 \pm 87,6\%$) (effet petit ; % de chance : possible) et un pourcentage d'actions de combat plus important ($16,1 \pm 16,4\%$) en seconde période (effet petit ; % de chance : probable).

Synthèse des résultats principaux

- . Seuls les avants réalisent moins d'actions de haute intensité en seconde période comparativement à la première.
- . Les demis de mêlée réalisent moins de courses à haute intensité en seconde période en comparaison avec la première.
- . Les avants et les arrières réalisent plus d'actions de combat en seconde période comparativement à la première.

4.4 - Evolution par mi-temps, des types de séquence de RHIE

Le **Tableau 20** présente les caractéristiques des séquences de *RHIE* en première et seconde mi-temps en fonction des postes, pour les joueurs ayant joué l'intégralité d'un match en Rugby à 7.

Tableau 20 : Comparaison de la distribution des séquences de répétitions d'actions de haute intensité (RHIE) par joueur et par mi-temps, en Rugby à 7. Différences en fonction des postes.

	Demi de mêlée				Avant				Arrière			
	MT1	MT2	Taille de l'effet	% de chance	MT1	MT2	Taille de l'effet	% de chance	MT1	MT2	Taille de l'effet	% de chance
Nombre total de séquences de RHIE (n)	1,5 ± 1,1	1,6 ± 1,3	-0,11; ± 0,50 (trivial)	15/46/39 (pas clair)	1,6 ± 1,1	1,6 ± 1,2	0,03; ± 0,32 (trivial)	20/68/12 (pas clair)	1,9 ± 1,1	2,0 ± 1,0	-0,09; ± 0,37 (trivial)	32/58/10 (pas clair)
Durée moyenne de séquence de RHIE (sec)	33,8 ± 10,5	36,5 ± 19,3	-0,16; ± 0,54 (trivial)	13/41/46 (pas clair)	39,2 ± 12,0	42,7 ± 20,8	0,20; ± 0,35 (petit)	51/46/3 (possible)	37,8 ± 13,7	42,3 ± 13,9	0,33; ± 0,39 (petit)	71/27/2 (possible)
Durée moyenne de récupération dans une séquence de RHIE (sec)	8,0 ± 3,8	7,6 ± 2,6	0,11; ± 0,54 (trivial)	39/43/18 (pas clair)	8,3 ± 2,7	9,7 ± 3,0	-0,46; ± 0,35 (petit)	0/11/89 (probable)	8,6 ± 2,8	9,6 ± 2,8	-0,34; ± 0,39 (petit)	1/26/73 (possible)
% du nombre d'accélération dans une séquence de RHIE	30,0 ± 19,6	29,3 ± 17,3	0,03; ± 0,54 (trivial)	31/45/24 (pas clair)	35,2 ± 21,1	37,3 ± 21,2	-0,10; ± 0,35 (trivial)	8/60/32 (pas clair)	30,5 ± 16,8	28,6 ± 15,9	0,12; ± 0,39 (trivial)	36/54/9 (pas clair)
% du nombre de courses à haute intensité dans une séquence de RHIE	38,2 ± 22,5	27,3 ± 16,6	0,54; ± 0,54 (petit)	85/13/1 (probable)	33,4 ± 19,3	23,8 ± 15,3	0,55; ± 0,35 (petit)	95/5/0 (probable)	30,0 ± 19,9	30,8 ± 15,9	-0,05; ± 0,39 (trivial)	15/59/26 (pas clair)
% du nombre de sprints dans une séquence de RHIE	1,4 ± 5,9	4,4 ± 12	-0,31; ± 0,54 (petit)	6/30/64 (pas clair)	0,8 ± 3,5	0,7 ± 3,3	0,02; ± 0,35 (trivial)	20/65/16 (pas clair)	2,8 ± 8,2	2,2 ± 4,5	0,09; ± 0,39 (trivial)	32/57/11 (pas clair)
% du nombre d'actions de combat dans une séquence de RHIE	30,4 ± 28,6	39,0 ± 19,5	-0,34; ± 0,54 (petit)	5/27/67 (possible)	30,7 ± 19,6	38,2 ± 19,9	-0,38; ± 0,35 (petit)	0/20/80 (probable)	36,7 ± 25,0	38,4 ± 18,5	-0,07; ± 0,39 (trivial)	12/57/30 (pas clair)

Légende : MT : mi-temps ; % : pourcentage exprimé par rapport au nombre total d'actions de haute intensité dans une séquence de RHIE ; Les données sont présentées en moyenne ± SD (l'écart-type). % : pourcentage ; Taille de l'effet <0,19, 0,20-0,60, 0,61-1,20, et >1,20 considéré respectivement comme trivial, petit, modéré et large. % de chance : <1%, certainement pas ; 1-5%, très peu probable ; 5-25%, peu probable ; 25-75%, possible ; 75-97.5%, probable ; 97.5-99%, très probable ; >99%, plus que probable. Si le pourcentage de chance est > à 5%, la différence n'est pas claire (Hopkins et coll. 2009).

Les résultats montrent qu'il n'est pas clair que les demis de mêlée, les arrières et les avants présentent une évolution de leur nombre total de séquences de *RHIE* entre la première et la seconde mi-temps. Cependant, la durée totale des séquences de *RHIE* augmente en seconde période chez les avants ($8,8 \pm 15,2\%$) et les arrières ($12,2 \pm 14,4\%$) (effet petit ; % de chance : possible). Les avants et les arrières présentent des durées moyennes de récupération au sein de leur séquence de *RHIE* plus élevées en seconde période ($16,1 \pm 12,1\%$ et $11,2 \pm 12,8\%$) (effet petit ; % de chance : respectivement probable et possible).

Concernant la part en pourcentage de chaque action de haute intensité au regard du nombre total de ces dernières au sein d'une séquence de *RHIE*, les différences sont les suivantes :

- Différences dans la composition des séquences de *RHIE* par mi-temps pour les demis de mêlée

Les demis de mêlée ont un pourcentage d'actions de combat plus élevé en seconde période ($28,1 \pm 43,3\%$) (effet petit ; % de chance : possible), cependant ils présentent un pourcentage de courses de haute intensité plus faible ($28,6 \pm 27,9\%$) (effet petit ; % de chance : probable).

- Différences dans la composition des séquences de *RHIE* par mi-temps pour les avants

Les avants enregistrent un pourcentage de courses de haute intensité moins important en seconde période ($28,9 \pm 18,3\%$) (effet petit ; % de chance : probable), cependant ils présentent un pourcentage d'actions de combat plus important en seconde période ($24,5 \pm 22,6\%$) (effet petit ; % de chance : probable).

- Différences dans la composition des séquences de *RHIE* par mi-temps pour les arrières

Il n'est pas clair que la composition des séquences de *RHIE* évolue entre la première et la seconde mi-temps chez les arrières.

Synthèse des résultats principaux

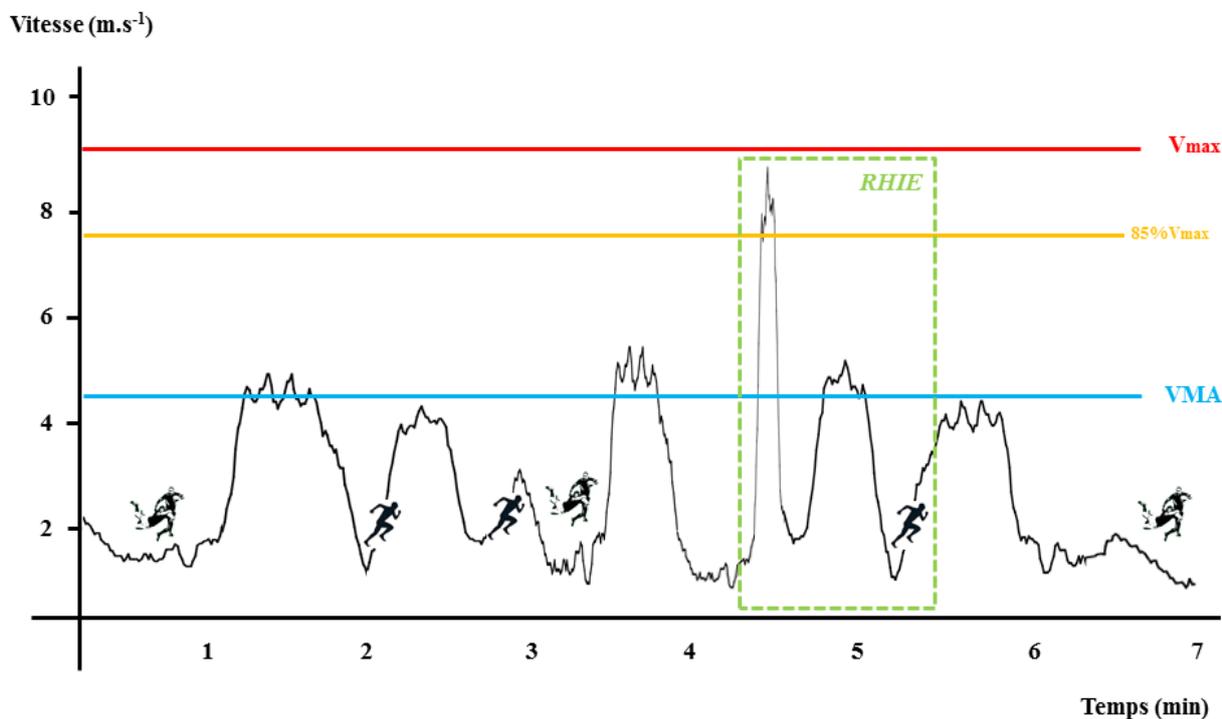
- . Le nombre de séquences de *RHIE* pour les demis de mêlée, les avants et les arrières, n'évolue pas entre la première et la seconde mi-temps.
- . Les avants ont des durées de récupération au sein des séquences de *RHIE* plus importantes en seconde période comparativement à la première.
- . Les demis de mêlée et les avants réalisent moins de courses à haute intensité au sein des séquences de *RHIE* en seconde période en comparaison à la première.

5. Discussion et Conclusion

Afin d'appréhender au mieux les exigences physiques du Rugby à 7 en compétition internationale, la présente étude a permis d'analyser le type et la distribution des actions de haute intensité en match. L'enchaînement de ces actions a aussi été analysé, afin d'aborder pour la première fois dans cette discipline, la notion de séquence de *RHIE*. Pour cela, les caractéristiques physiques individuelles des joueurs (VMA et V_{max}) ont été utilisées et les actions de combat identifiées comme des actions de haute intensité. Toutes ces données observables ont été déclinées en fonction du poste des joueurs et détaillées par match et par mi-temps.

A ce jour, la seule étude sur le Rugby à 7 qui s'est consacrée à l'analyse de l'enchaînement d'actions de haute intensité, est centrée uniquement sur les répétitions de sprints (Suarez-Arrones et coll. 2015). Bien que cette étude soit récente, au regard de la revue de littérature réalisée qui démontre la nécessaire prise en compte de la notion de combat (Austin et coll. 2011, Gabbett et coll. 2015), nous pouvons alors penser que la méthode d'analyse minimise le nombre potentiel de séquences de *RHIE* en rugby si elle ne prend pas en compte les actions de combat. À l'inverse, en considérant un sprint comme une course supérieure à $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et en élevant le seuil du temps de récupération jusqu'à 30 secondes, ces auteurs avaient finalement évalué la discipline comme une activité essentiellement basée sur l'enchaînement de tâches. En effet, ils avançaient que les joueurs de Rugby à 7 pouvaient avoir à enchaîner une séquence de répétitions de sprints toutes les 280 secondes pendant un match. Or, ceci est en opposition avec les résultats de notre étude qui ont montré que les sprints ne prenaient qu'une petite part si l'on considère les tâches de combat. Ceci trouve son explication d'abord dans le fait qu'un seuil à $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, pour des joueurs véloce comme ceux du Rugby à 7, est trop faible. D'autre part, la prise en compte des caractéristiques physiques individuelles de chaque joueur (VMA et V_{max}) dans l'analyse des déplacements, semble induire une analyse plus précise, qui explique certainement le plus faible nombre de sprints enregistrés (puisque dans notre étude, un sprint était enregistré seulement lorsque le joueur dépassait les 85% de sa V_{max}), mais surtout qui nous permet de confronter les performances des joueurs entre eux. Ainsi et pour la première fois en Rugby à 7, nous pouvons établir qu'un joueur réalise par match $3,4 \pm 1,7$ séquences de répétition d'actions intenses, d'une durée moyenne de $39,0 \pm 11,2$ secondes et dont la durée moyenne des récupérations au sein de ces séquences est de $8,8 \pm 2,4$ secondes. Ainsi, une mi-temps représentative d'un match de Rugby à 7, pourrait être présentée de la façon suivante (**Figure 15**).

Figure 15 : Illustration d'une mi-temps représentative d'un match de Rugby à 7



Légende :  : tâche de combat ;  : accélération ; *RHIE* : une course en sprint + une course à haute intensité + une accélération ; *VMA* : vitesse maximale aérobie ; V_{max} : vitesse maximale

Dans notre étude, le nombre total d'actions de haute intensité s'élève à $26,6 \pm 7,2$ par match ce qui, rapporté à la minute, se traduit par deux actions de haute intensité par minute. Cette donnée combinée au temps maximal de séquence de jeu qui a été relevé à 2 minutes et 21 secondes, nous laisse apprécier toute l'intensité qu'il peut y avoir dans un match de Rugby à 7. A ce sujet d'ailleurs, la majorité des séquences de *RHIE* par match (52% pour les avants, 54% pour les arrières, 60% pour les demis de mêlée), sont constituées de 3 actions de haute intensité lorsque les séquences à 4 actions représentent environ un quart du nombre total des séquences (27% pour les avants, 24% pour les arrières, 18% pour les demis de mêlée). Cette analyse des séquences de *RHIE* étant proposée en Rugby à 7 pour la première fois, nous sommes tournés vers les analyses en rugby à XIII pour confronter nos données. Récemment, une étude a caractérisé les séquences de *RHIE* dans cette discipline avec en moyenne, un nombre total par match de 12,5, constitués de 4 actions et avec des temps de récupération moyen de 7 secondes (Gabbett et coll. 2015). Nos résultats sont donc inférieurs à ces derniers car ils décrivent des séquences de *RHIE* de moins de 4 actions et avec des temps

de récupération entre les actions supérieures (~9 secondes). Néanmoins, sur le nombre total de séquences de *RHIE*, il est important de noter que si en Rugby à XIII, le nombre total s'élève à 12,5, ces dernières se réalisent sur 80 minutes de match. Or en Rugby à 7, les (3,4) séquences de *RHIE* sont effectuées sur seulement 14 minutes. Par extrapolation, si on ramène le nombre de séquence de *RHIE* effectué par minute, quand les joueurs de XIII réalisent 0,16 séquence de *RHIE.min⁻¹*, les joueurs de 7 en réalisent 0,24. Ceci met en évidence que le niveau d'intensité des matchs de Rugby à 7 est supérieur à celui des matchs de XIII et surtout de permet de conclure que cette discipline est bien une de celle où la présence de séquence de *RHIE* est la plus importante.

Pour plus de précisions dans notre analyse, nous avons décliné nos observations en fonction des postes des joueurs : demi de mêlée, avant et arrière. Des différences ont été relevées, cependant, ces différences sont statistiquement faibles, avec un effet le plus souvent petit, très rarement modéré, ce qui laisse penser que les performances des joueurs de Rugby à 7 sont homogènes quel que soit le poste du joueur (à l'image de leurs caractéristiques physiques). Ces différences faibles mais pour autant probables, sont tout de mêmes à noter, car les entraîneurs pourraient prendre ces spécificités en compte, à savoir que : (1) les avants et les arrières réalisent plus d'actions de haute intensité que les demis de mêlée ; (2) les avants réalisent plus d'accélération que les arrières alors que ces derniers réalisent plus de courses en sprint ; (3) les arrières réalisent plus de séquences de *RHIE* que les demis de mêlée ; (4) les demis de mêlée ont une durée moyenne de récupération au sein de leur séquence de *RHIE* inférieure aux autres postes. À souligner cependant, la différence du nombre de tâches de combat entre les avants et les arrières. Bien que l'effet soit de petite taille, nous avons souligné que les arrières réalisent plus sinon autant, de tâches de combat que les avants. Pour expliquer cela, nous souhaitons revenir sur la définition des tâches de combat dans notre étude. En effet, nous les avons considérées au travers des phases de rucks, de mêlées et de plaquages. Nous avons codé un « plaquage » lorsqu'un joueur plaquait ou était plaqué. Le fait que les arrières puissent enregistrer autant de tâches de combat que les avants peut donc s'expliquer par le fait qu'ils sont peut être parfois plus en condition de porteur de balle, et donc plus souvent en posture d'être plaqué, ce qui augmenterait le nombre total de phases de combat. Bien que ce résultat soit contre-intuitif, il montre que les arrières autant que les avants (contrairement au rugby à XV où l'activité à ces deux postes est bien différente), doivent être prêts à toutes les situations de combats (offensives et défensives).

Ces résultats valident ainsi le parti pris de faire une analyse en fonction des postes ce qui permettra éventuellement de proposer des entraînements individualisés au poste de chacun.

Pour finaliser notre analyse, les performances ont été observées au fil du match pour observer les différences qui pouvaient exister entre la première et la seconde mi-temps. A l'image des différences par poste, ces différences de performances entre première et seconde période sont statistiquement faibles elles aussi. Trois hypothèses peuvent alors être avancées pour expliquer l'évolution des performances de haute intensité au fil d'un match. La première hypothèse est celle dite de « pacing » (Waldron et Highton, 2014), au travers de laquelle le joueur gère son effort au regard du résultat du match en cours. En effet, Gabbett et coll. (2013) avaient démontré que les joueurs régulent leur activité en seconde période, en augmentant les courses de faible intensité ainsi que les durées de récupération entre leurs séquences de *RHIE*, de façon à maintenir le nombre total de séquences de *RHIE*. Cette analyse réalisée en football féminin, nous incite à poser la question de la transposition en Rugby à 7, d'autant plus que le résultat de notre étude est en contradiction avec celle de Suarez-Arrones et coll. (2015). Ces derniers avaient mis en évidence une diminution du nombre de répétitions de sprints de la première à la seconde mi-temps. La seconde hypothèse serait celle du changement de stratégie en cours de match. En effet, les choix initiés par les entraîneurs au regard du déroulement du match à la mi-temps, peuvent modifier la stratégie de l'équipe et donc impacter d'une façon ou d'une autre l'activité des joueurs. Ainsi, dans notre étude, l'augmentation du nombre de combats en seconde période pourrait éventuellement s'expliquer par des consignes claires de l'entraîneur, de moins déplacer le ballon pour chercher une confrontation plus systématique avec son vis-à-vis. La dernière hypothèse consiste à étudier l'impact des variables contextuelles qui nous a montré que le niveau de l'adversaire, comme le score à la mi-temps ont un impact sur les performances physiques et techniques des joueurs (Couderc et coll. 2016, soumis).

Pour conclure, notre étude a permis d'analyser le type et la distribution des actions de haute intensité en match de Rugby à 7. L'enchaînement de ces actions nous a permis d'identifier que le Rugby à 7 est bien un sport collectif où les séquences de *RHIE* (combat inclus) sont présentes et s'enchaînent au fil du match. De manière à répondre aux réflexions de certains auteurs qui avaient souligné des difficultés à mettre en œuvre des entraînements capables de réitérer les efforts d'un match (Higham et coll. 2013), les analyses de notre étude ont été réalisées au travers des caractéristiques physiques individuelles des joueurs (V_{MA} et V_{max}). De cette façon, la représentation d'une mi-temps d'un match de Rugby à 7 comme proposé précédemment, peut tout à fait inspirer les entraîneurs pour proposer des séquences d'entraînement spécifiques à cette discipline. In fine, une perspective de modélisation d'un match de Rugby à 7 pourrait s'envisager.

Limite de l'étude : Bien que les résultats de cette étude soient originaux et nous permettent de proposer des orientations claires pour la construction de futurs plans d'entraînement, deux principales limites peuvent être soulignées. Tout d'abord, notre étude s'est centrée uniquement sur une équipe pendant deux saisons, ce qui peut laisser supposer un « effet équipe » et ne nous laisse pas la possibilité d'élargir nos conclusions (Dobson et Keogh, 2007). Deuxièmement, nous pourrions affiner plus encore la définition des actions de haute intensité en y intégrant les actions de « lift/jump » en touche, ou encore les actions de saut en réception de coup d'envoi. Ces actions, certes de courte durée, pourraient peut-être elles aussi être qualifiées de haute intensité.

La performance en Rugby à 7 : l'essentiel

✓ Les actions de haute intensité

Le pourcentage du nombre de sprints est largement inférieur aux pourcentages d'actions de combat, d'accélération et de courses à haute intensité. Les demis de mêlée présentent un pourcentage de sprints plus élevé que les avants. Ces derniers présentent un pourcentage d'accélération plus élevé que les arrières, alors que ceux-ci auraient un pourcentage de courses en sprint plus important que les avants.

✓ Les séquences de *RHIE*

Un joueur réalise en moyenne $3,4 \pm 1,7$ séquences de *RHIE*, dont la durée moyenne est de $39,0 \pm 11,2$ secondes et la durée moyenne des récupérations $8,8 \pm 2,4$ secondes. Le pourcentage de sprints est inférieur aux pourcentages d'actions de combat, d'accélération et de courses à haute intensité au sein d'une séquence de *RHIE*. Les arrières réalisent plus de séquences de *RHIE* que les demis de mêlée. Ces derniers ont une durée de récupération au sein des séquences de *RHIE* plus faible. Les séquences de *RHIE* contiennent le plus souvent trois actions de haute intensité.

✓ Évolution des performances en fonction des postes et des mi-temps

Seuls les avants réalisent moins d'actions de haute intensité en seconde période comparativement à la première. Les demis de mêlée réalisent moins de courses à haute intensité en seconde période en comparaison avec la première. Les avants et les arrières réalisent plus d'actions de combat en seconde période comparativement à la première. Le nombre de séquences de *RHIE* pour les demis de mêlée, les avants et les arrières, n'évoluent pas entre la première et la seconde mi-temps. Les avants ont des durées de récupération au sein des séquences de *RHIE* plus importantes en seconde période comparativement à la première. Les demis de mêlée et les avants réalisent moins de courses à haute intensité au sein des séquences de *RHIE* en seconde période.

VI. DISCUSSION GENERALE

Pour réaliser l'ensemble de ces études, nous avons eu l'opportunité de tester une population représentative du haut niveau en Rugby à 7. C'est en effet au travers des performances des joueurs de **l'équipe de France**, que nous avons tenté de décrire le plus rigoureusement possible cette activité. Il est, sans prétention aucune, important et nécessaire de préciser que l'ensemble de ces études s'est appuyé sur non moins d'une dizaine de tests physiques différents, **380 prélèvements sanguins**, **107 matchs** et **775 matchs-observations**. La robustesse de nos données ne fait ainsi aucun doute, bien que certaines limites aient été mises en évidence dans chacune des études. Ce travail de thèse a réussi à mettre en lumière plusieurs aspects de cette discipline non connus à ce jour car peu d'études s'y étaient consacrées. En effet, nous avons démontré que certaines **variables contextuelles** comme le niveau de l'adversaire, impactent les performances techniques des joueurs de Rugby à 7. L'observation des **réponses métaboliques** suite à la sortie d'un joueur ou en fin de match, au cours d'un tournoi international, nous a permis d'observer des pics de lactate élevés ainsi que des perturbations métaboliques importantes. Enfin, l'analyse des données GPS, synchronisée avec une analyse vidéo réalisée par un expert du rugby, nous a permis de quantifier et de décrire, l'enchaînement des actions de haute intensité pour in fine, établir que le Rugby à 7 correspond bien à une discipline de **répétitions d'efforts intenses**.

1. Seuils de vitesse de course et entraînement

Comme nous l'avons observé au cours de nos travaux de thèse, il est aujourd'hui difficile de confronter les données GPS de différentes études entre elles. Très récemment, une étude de Macleod et coll. (2016) a mis cela en évidence, en montrant toutes les difficultés auxquelles sont confrontés les analystes de performances pour comparer différentes données de déplacement des joueurs, obtenues à l'aide de l'outil GPS. Après avoir identifié 3668 études, ce travail s'est centré sur une quarantaine d'entre elles, les plus robustes méthodologiquement et centrées sur le haut niveau. L'auteur a exploré les deux types d'analyses qui sont utilisées pour caractériser les performances de course des joueurs au cours de match en sport collectif : analyse avec seuil absolu et seuil individualisé. La majorité des études utilisent **les seuils de vitesse absolus**. Basés sur des seuils de vitesse prédéfinis, les allures de course sont alors catégorisées (par exemple : marche 1-6 km.h⁻¹ ; footing 6-12 km.h⁻¹ ; course soutenue 12-15 km.h⁻¹ ; course à haute intensité 15-22 km.h⁻¹ et sprint > 22 km.h⁻¹).

La première limite dans l'utilisation de ce type de classification réside dans le fait qu'il existe presque autant d'études que de catégories différentes, ce qui rend difficile la confrontation des données. Le **Tableau 21** ci-après, présente un extrait des données recueillies par l'auteur en question.

Tableau 21 : Présentation de seuils absolus issus de différentes études en rugby. Extrait de "A comparison of the physiological demands of rugby union match-play when determined by absolute (ABS) or individual (IND) velocity bands in Global Positioning System (GPS) analysis". Macleod (2016).

Reference	Low Intensity Running (km.h ⁻¹)				MIR	High Intensity Running (km.h ⁻¹)		
	Stand/Walk	Jogging	Cruising	Striding		HIR	Sprint	Max Sprint
<u>Rugby Union</u>								
Jones <i>et al</i> 2015*	0-5.8	5.8-9.7	9.7-13.7	13.7-18		18-19.8	>20	
Reardon <i>et al</i> 2015**						60% / 18		
Suarez-Arrones <i>et al</i> 2014	0-6	6.1-12	12.1-14		14.1-18	18.1-20	>20.1	
Cahill <i>et al</i> 2013**	<20%	20-50%		51-80%			81-95%	96-100%
McLellan <i>et al</i> 2011	0-6	6.1-12	12.1-14	14.1-18		18.1-22	>22.1	
Reid <i>et al</i> 2013*	0-1.8, 2.2-6.1	6.5-13	13.3-18			18.4-24.1	>24.48	
Coughlan <i>et al</i> 2011	0-1.8, 1.8-6.1	6.12-13			13-18	18-24.1		
Venter <i>et al</i> 2011**	<20%	20-50%		51-80%			81-95%	96-100%
Cunniffe <i>et al</i> 2009	0-6	6-12	12-14	14-18		18-20	>20	
<u>Rugby Sevens</u>								
Ross <i>et al</i> 2015*					<18	>18		
Grantanelli <i>et al</i> 2014					<14	>14		
Murray <i>et al</i> 2014*						15 - 36		
Higham <i>et al</i> 2012*	0-7.2	7.2-12.6	12.6-18			18-21.6		>21.6
Suarez-Arrones <i>et al</i> 2012	0-6	6.1-12	12.1-14		14.1-18	18.1-20		>20.1

D'après une étude de Macleod (2016)

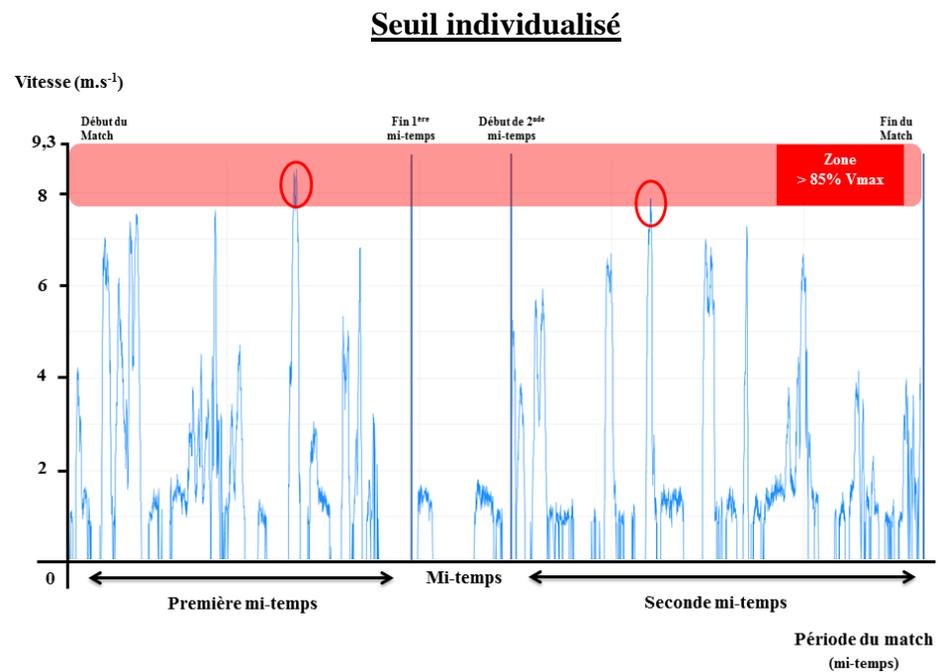
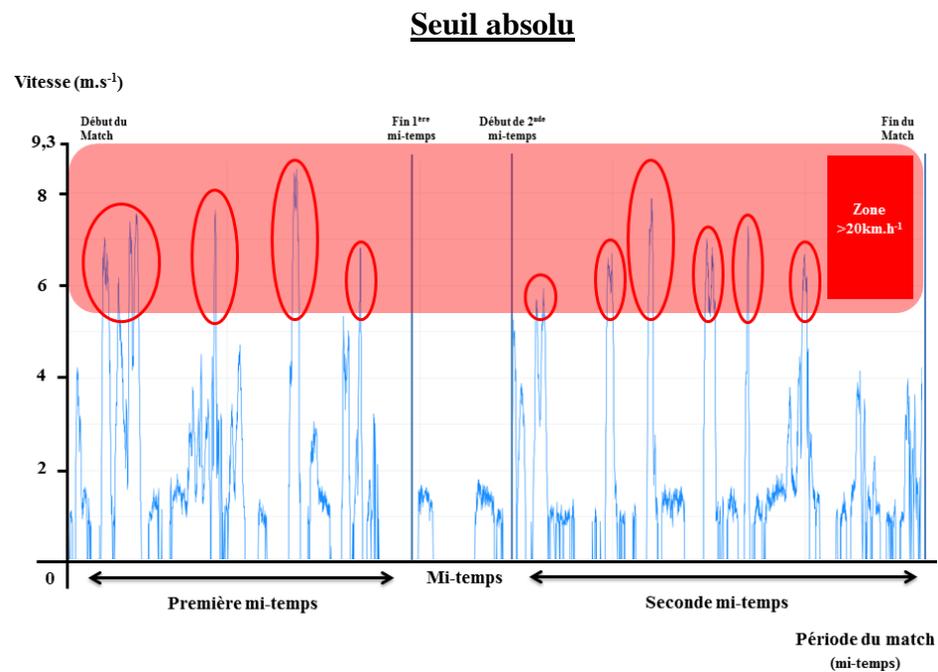
Seconde limite, ces classifications ne prennent pas en compte les caractéristiques physiques des sujets étudiés. Voici un exemple afin d'éclairer les propos de Macleod et coll. (2016). Si deux joueurs réalisent 50 mètres à 25 km.h⁻¹, dans un même match de rugby, mais qu'ils présentent des vitesses maximales à 26 km.h⁻¹ pour l'un et 33 km.h⁻¹ pour l'autre, il est aisément compréhensible qu'ils ont tous deux réalisé le même effort absolu, mais avec un coût individuel de ce dernier, très certainement différent.

C'est évidemment pour ce genre de raisons, que quelques auteurs, ont décidé d'utiliser non pas des seuils absolus, mais plutôt des **seuils individualisés**. Basés sur les caractéristiques physiques intrinsèques des joueurs (VMA et V_{max}), l'analyse des performances physiques devient plus précise, bien que plus complexe à réaliser car spécifique à chaque joueur. L'utilisation de ces seuils individualisés a plusieurs intérêts fondamentaux

dans l'analyse des performances. En effet, ce type d'analyse permet d'individualiser les performances des joueurs afin de pouvoir les confronter les unes aux autres. De plus, cette analyse est capable de fournir des informations plus précises sur les exigences physiques d'un match, pour permettre aux analystes de performances de réaliser de réelles préconisations pour l'entraînement. Cette option est celle que nous avons choisie dans toutes nos analyses.

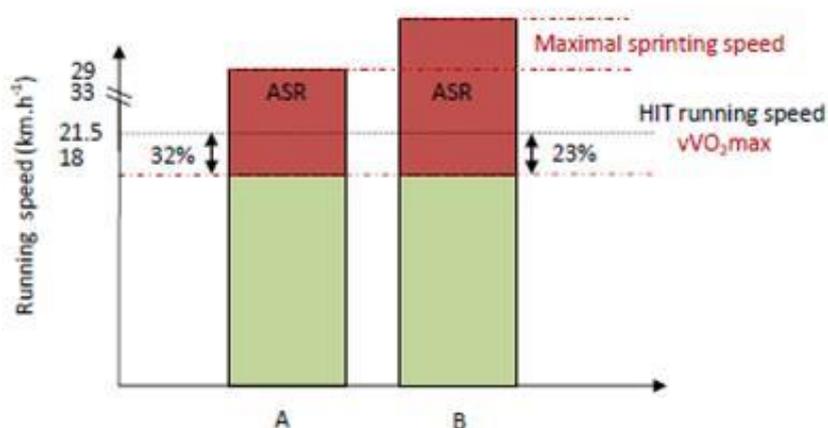
Pour illustrer ces propos, nous présentons ci-dessous une analyse de performance, réalisée de deux façons différentes. Les signaux GPS d'un joueur de l'équipe de France (V_{\max} du joueur : $9,3 \text{ m.s}^{-1}$), sur un match de Rugby à 7, sont présentés sur la **Figure 16**. Sur le graphique de gauche, c'est sur la base d'un seuil absolu (sprint $>20 \text{ km.h}^{-1}$, Suarez-Aronnes et coll. 2015) que nous pouvons observer le nombre de fois où le joueur passe au-delà du seuil de sprint, alors que celui de droite est basé sur un seuil individualisé (sprint $> 85\% V_{\max}$, Etude 3).

Figure 16 : Exemple type de l'analyse GPS d'un match d'un joueur de Rugby à 7, avec seuil absolu et seuil individualisé



Comme nous pouvons aisément le constater, un seuil à $20\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, pour caractériser des courses en sprint n'est vraisemblablement pas suffisant. Il est évident que l'analyse proposée à droite correspond plus à une analyse applicable sur des athlètes de haut niveau, nous permettant de distinguer avec précision la performance du joueur au regard de ses caractéristiques, contrairement à celle de gauche qui restera plus approximative pour réaliser une analyse plus précise de la performance. Pour aboutir à ce genre de conclusion, encore faut-il faire des choix de seuils individualisés judicieux, au regard des performances que l'on souhaite observer. Pour cela, au-delà de l'intérêt que nous avons porté pour la V_{max} du joueur dans l'exemple précédent, une notion supplémentaire utilisée dans notre première étude, doit attirer notre attention. En effet, la notion de vitesse anaérobie de réserve, représentant la différence entre la V_{max} et la VMA, va aussi nous permettre d'être plus pertinent dans notre analyse (utilisée par Mendez-Villanueva et coll. (2012) en football). Ainsi, catégoriser les courses au regard de la VMA, de la V_{max} et de l'ASR, permet aux analystes de performances d'observer à la fois les différents rythmes réalisés au cours des matchs mais aussi et surtout de pouvoir se projeter sur les dépenses énergétiques individuelles qui en découlent. En effet, deux joueurs n'ayant pas la même V_{max} mais avec une même $\text{VO}_{2\text{max}}$, ne solliciteront pas de la même façon leur ASR. La **Figure 17** ci-dessous, illustre nos propos.

Figure 17 : Représentation des zones de vitesse anaérobie de réserve, de deux sujets aux vitesses maximales différentes mais avec des $\text{VO}_{2\text{max}}$ identiques.



D'après Buchheit (2016)

En effet, au cours d'une séquence d'entraînement à haute intensité, si ces deux sujets évoluent à une même VO_{2max} , en réalité, une proportion plus ou moins importante de leur ASR sera mobilisée, ce qui aboutit à une demande physiologique et donc, une tolérance à l'exercice différente aussi (Buchheit et coll. 2010). L'intérêt de coupler toutes ces notions, pour adapter l'entraînement afin de se préparer aux exigences de la compétition, comme par exemple à l'enchaînement des tâches, prend alors tout son sens.

En termes d'applications pratiques, ceci peut se traduire par une optimisation de la préparation physique pour son émergence dans sa forme intégrée. En collaboration avec l'entraîneur de l'équipe de France à 7 féminine, les séances de courses orientées puissance-aérobie sont dorénavant couvertes par des séances spécifiques rugby. La **préparation physique intégrée** prend alors tout son sens ici. En effet, ayant le moyen d'objectiver individuellement les déplacements de chacune des joueuses au cours d'une séance de rugby, il est aisé pour le préparateur physique qui évalue la séance, de quantifier directement les distances parcourues au regard des intensités de course ciblées. Pour donner un exemple concret, au cours d'un cycle dont l'objectif est le développement de la puissance-aérobie, sur une séance d'entraînement d'une heure de rugby, si la joueuse n'a pas effectué au moins 25% de la distance totale parcourue au-delà de sa VMA, une compensation post-entraînement peut être mise en place pour contrecarrer le manque de temps passé à haute intensité.

2. Séquences de répétitions d'actions de haute intensité et entraînement

En compétition, la notion de séquence de **RHIE** prend de plus en plus de place dans le champ des analyses de performances. Bien que la définition de Spencer et coll. (2004) commence à faire l'unanimité, les définitions des actions de haute intensité au sein des **RHIE**, sont elles aussi parfois différentes d'une étude à l'autre. Prétendre analyser les patterns de jeu en rugby, sans prise en compte des tâches de combat paraît délicat voire critiquable. Ces dernières peuvent être appréhendées de deux façons différentes. En effet, ces tâches de combat peuvent être quantifiées à l'aide d'une analyse vidéo (analyse notationnelle réalisée par un expert) ou bien par l'analyse des impacts, issue des données GPS. Certains GPS sont équipés d'accéléromètres qui permettent d'enregistrer les accélérations en « g » réalisées par les joueurs, et sont ensuite retranscrites en impacts. Les niveaux d'impacts vont être classés en fonction des « g », et ici aussi, il n'existe pas de consensus dans ces classifications comme l'ont précisé Hausler et coll. (2016) dans une méta analyse sur le rugby à XIII. La capacité des

GPS à identifier un plaquage n'étant pas démontrée à ce jour (Gastin et coll. 2014), nous avons alors opté pour une analyse notationnelle validée pour quantifier les tâches de combat.

Finalement, nous allons pouvoir répondre aux réflexions de certains auteurs qui avaient souligné des difficultés dans la mise en œuvre d'entraînements susceptibles de réitérer les efforts d'un match (Higham et coll. 2013). Lorsque ce constat avait été réalisé, la littérature sur la discipline du Rugby à 7 n'était encore que sommaire. Aujourd'hui, pour répondre à cette requête, nous pourrions nous appuyer sur une étude de Furlan et coll. (2016) et sur les résultats de ce travail de thèse. Premièrement : Furlan et coll. (2016) ont travaillé sur la création d'un protocole de simulation de match de Rugby à 7 (appelé « R7SP ») basé sur une revue complète de la littérature. À cette étude, nous pouvons ajouter aux principales informations apportées précédemment, que les joueurs de Rugby à 7 ont une fréquence cardiaque moyenne qui s'élève à $88 \pm 4\%$ pendant un match de Rugby à 7, et passent 45% de leur temps à des fréquences cardiaques supérieures à 90% de leur fréquence cardiaque maximale (Suarez et coll. 2012). Malgré les variabilités cardiaques importantes connues, cette information peut être utilisée comme une variable supplémentaire, dans le cadre du suivi de l'entraînement.

Deuxièmement, ce travail de thèse a permis d'appréhender une analyse de l'activité en se basant sur les caractéristiques physiques individuelles des joueurs (V_{MA} et V_{max}) et en intégrant les tâches de combat. En effet, la part des tâches de combat étant prédominante dans l'activité Rugby à 7 (~30% des actions de haute intensité), il devient alors incontournable de les prendre en considération lorsque l'on souhaite observer les enchaînements d'actions de haute intensité dans cette discipline. Ceci permettra d'identifier des contenus d'entraînement concrets, spécifiques aux joueurs, directement utilisables sur le terrain.

De par la combinaison de ces deux études, au cours de séquences de préparation physique, la modélisation d'une mi-temps ou d'un match de Rugby à 7 est alors envisageable, à la condition sine qua none de disposer des moyens pour quantifier/mesurer, les séquences d'entraînement (cardiofréquencemètre, GPS, etc...).

En termes d'applications pratiques, l'intérêt réside alors dans la capacité à calibrer différents entraînements au regard de la planification globale, des exigences du Rugby à 7, tout en prenant en compte l'individu au sein d'un collectif. A titre d'exemple, une classification de trois types d'entraînements a été conçue pour la mise en œuvre de la préparation olympique des Jeux de Rio 2016 de l'équipe de France féminine. Des séances de rugby de type 1, 2 et 3 ont été formalisées par le biais d'attendus en termes de distance totale

parcourue, distance à haute intensité et nombre d'accélération effectués. Ainsi, nous pouvons suivre l'évolution des séances de rugby sur le terrain, au regard des objectifs préalablement fixés.

Concernant la mise en œuvre et au vu des résultats précédemment exposés, les préparateurs physiques peuvent calibrer une séquence sur la base d'un stimulus aérobie important (90-110 m.min⁻¹) (Couderc et coll. 2016), auquel s'ajoutent, 3 tâches de combats (plaquages sur boudin par exemple), 3 accélérations (>2,5m.s⁻²), 3 courses à haute intensité (> 100% VMA), un sprint (>85% V_{max}) et au moins une séquence de *RHIE* (par exemple : une accélération + une tâche de combat + un sprint, avec moins de 21 secondes de récupération relative (course à faible intensité) entre ces trois tâches). L'analyse en temps réel des données GPS dont nous disposons en cours d'entraînement, permet au préparateur physique de réguler son joueur au fil de la séquence, en fonction de ce qu'il réalise. Afin de mimer les aléas du jeu typiques en sport collectif, cette séquence pourra sans cesse être modifiée par le préparateur physique, comme le préconise Furlan et coll. (2016). En effet, au-delà de la distribution du nombre d'actions de haute intensité qui peut varier, les séquences de *RHIE* peuvent elles aussi être susceptibles d'évoluer. Gabbett et coll. (2013) ont démontré que les séquences de *RHIE* sont elles aussi sous l'influence de l'impact de variables contextuelles. Ils ont observé que ces dernières sont significativement moindres lors des défaites que lors des victoires (11,4 ± 0,9 vs. 13,9 ± 1,1 séquences de *RHIE* par match de Rugby à XIII (p<0,05)). Ainsi, l'entraînement pourra s'aligner, voire dépasser les exigences physiques moyennes d'un match et devra être piloté par les entraîneurs, de façon à connaître des variations pour mimer ou exacerber au mieux, la réalité des matchs.

Pour illustrer cette notion de répétitions d'efforts intenses à l'entraînement, voilà ci-après trois exemples de situation en préparation physique. De trois niveaux différents, elles peuvent s'adapter en fonction du moment de la planification :

(1) Exemple d'une séquence de préparation physique (solicitation moyenne) : Un bloc de 7 minutes, rythme 90-110 m.min⁻¹, comprenant : 3 tâches de combat, 3 accélérations, 3 courses à haute intensité (> 100% VMA), 1 sprint (> 85% V_{max}), et une séquence de *RHIE* (par exemple : 1 accélération + 1 tâche de combat + 1 sprint, avec moins de 21 secondes de récupération relative (course à faible intensité) entre ces trois tâches).

(à planifier en phase de reprise de préparation physique générale)

(2) Exemple d'une séquence de préparation physique (solicitation forte) : Deux blocs de 7 minutes, rythme 90-110 m.min⁻¹, comprenant : 3 tâches de combat, 3 accélérations, 3 courses à haute intensité (> 100% VMA), 1 sprint (> 85% V_{max}), et une séquence de RHIE (par exemple : 1 accélération + 1 tâche de combat + 1 sprint, avec moins de 21 secondes de récupération relative (course à faible intensité) entre ces trois tâches). La récupération entre les blocs est seulement de deux minutes afin de simuler une mi-temps.

(à planifier à l'approche de la compétition, considérée comme un rappel)

(3) Exemple d'une séquence de préparation physique (solicitation extrême) : Deux blocs de 7 minutes, rythme 100-120 m.min⁻¹, comprenant : 3 tâches de combat, 3 accélérations, 3 courses à haute intensité (> 100% VMA), 1 sprint (> 85% V_{max}), et deux séquences de RHIE par bloc (par exemple : 1 accélération + 1 tâche de combat + 1 sprint, avec moins de 21 secondes de récupération relative (course à faible intensité) entre ces trois tâches). La récupération entre les blocs est seulement de deux minutes afin de simuler une mi-temps.

(à planifier en préparation physique spécifique)

3. Entraînement et variables contextuelles : une notion incontournable ?

Comme nous l'avons démontré, le contexte impacte directement la performance réalisée, alors, les variables de contexte devraient être à l'avenir, considérées systématiquement afin de pondérer les performances évaluées. Pour illustrer cette idée, deux **applications pratiques**, à titre d'exemples, peuvent être proposées ici au regard des informations apportées par ce travail de thèse, concernant l'impact du niveau de l'adversaire : (1) adapter les échauffements de match, (2) le rôle de l'entraîneur dans la gestion du match.

Concernant l'adaptation de l'échauffement (1) : en effet, pour préparer un match contre une équipe classée plus forte, le préparateur physique en charge de l'équipe devra être particulièrement vigilant à la qualité de ce dernier, car nous avons démontré qu'un nombre important d'accélérations va être enregistré à l'issue du match. De ce fait, pour préparer ses joueurs, il devra pendant son échauffement être attentif au travail balistique, de réactivité, d'accélérations et de changements de directions, de façon à ce que ses joueurs puissent répondre aux exigences du match à suivre. L'entraîneur lui, devra faire en sorte de mettre l'accent sur l'importance de la qualité des transmissions et la conservation du ballon, car plus

l'équipe sera en situation de porteur de balle, plus la chance de remporter le match sera grande.

Côté rôle de l'entraîneur dans la gestion du match (2) : grâce à l'utilisation des données GPS en temps réel, nous pourrions envisager qu'il puisse être à l'écoute de ces dernières en cours de match, pour conforter (ou non) ses choix de changement de joueur. En effet, ayant établi des relations claires entre les distances parcourues à haute intensité et les concentrations élevées de lactate, l'entraîneur pourrait être interpellé lorsqu'en cours de match, un joueur cumulerait une quantité importante de distance à très haute intensité. En effet, ce dernier pourrait être soupçonné de jouer en état de déséquilibre acido-basique important, et donc, être susceptible d'être sorti par l'entraîneur pour le remplacer par un joueur remplaçant. La question qui demeure est celle de sortir un très bon joueur, sous prétexte qu'il pourrait être en difficulté, bien qu'il puisse malgré nos suppositions, être tout à fait capable de poursuivre le match tout en étant compétitif. L'entraîneur, avec son expertise, ne doit-il pas garder toute son autonomie dans ces moments-là ?

4. Efforts intenses, réponses métaboliques et récupération

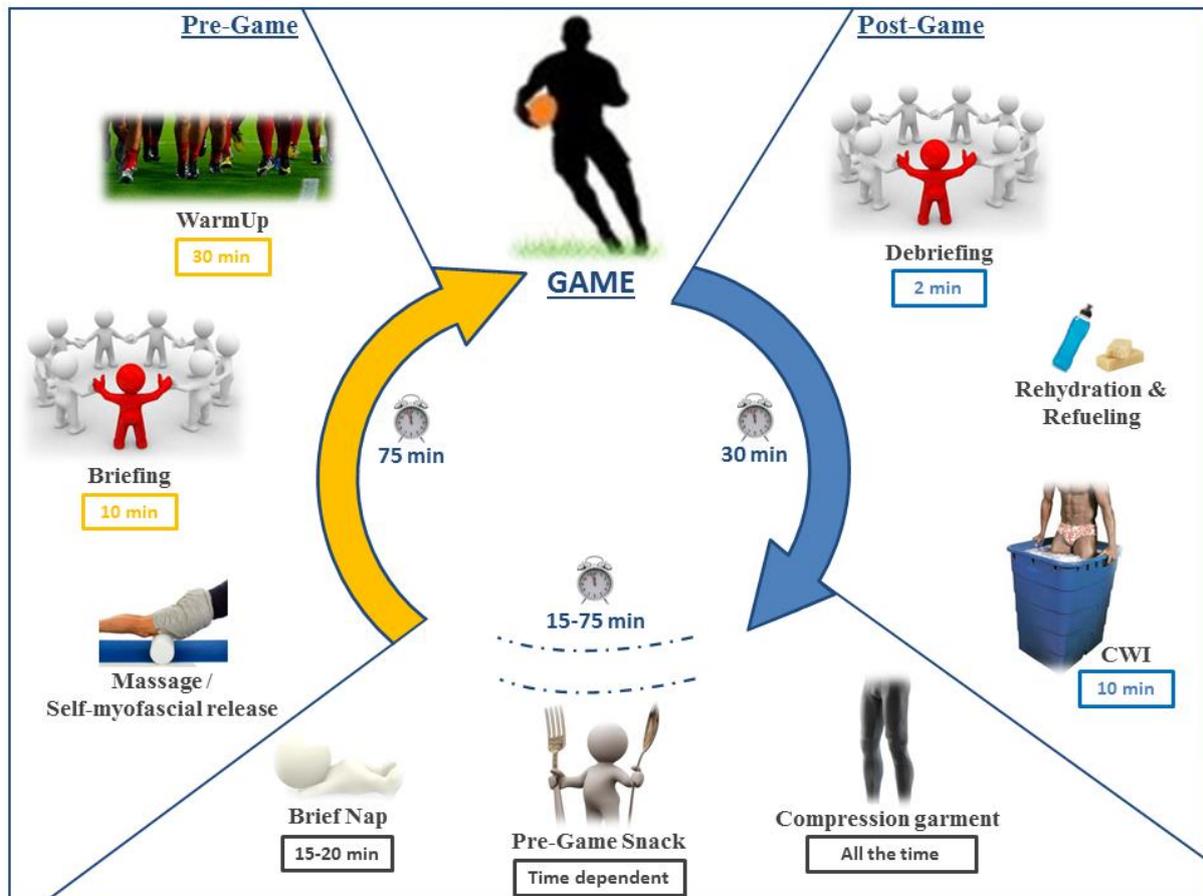
La nature imprévisible et intermittente de tout sport collectif met en avant le fait que les joueurs doivent être préparés à différentes sollicitations physiques qui feront appel à tous les systèmes de fourniture d'énergie. Les aléas du jeu impactent directement les seuils de mobilisation des filières énergétiques et les réponses physiologiques qui en découlent, ceci différemment pour chaque joueur en fonction de son profil. Les **réponses métaboliques** que nous avons observées en cours ou en fin de match, ont été analysées au regard des minutes qui précédaient le prélèvement. Nous avons observé les relations qui pouvaient exister entre les réponses métaboliques et les distances (relatives et à haute intensité) parcourues par les joueurs. De fortes sollicitations de la filière anaérobie et des perturbations de l'homéostasie ont été soulignées : (1) l'observation des concentrations de lactate post-match n'est pas représentative de l'exigence globale d'un match pour autant, la [La] observée reste un très bon indicateur de l'intensité de la séquence de jeu qui a précédé le prélèvement ; (2) les perturbations acido-basiques importantes se rapprochent de celles observées à la suite d'un 300-m en sprint. De fait, il apparaît donc primordial de développer chez le rugbyman à 7 de haut niveau, ses capacités à produire du lactate et à tamponner l'acidose. Afin de pouvoir supporter l'enchaînement des journées de tournoi, les fortes sollicitations physiques et les

impacts liés au combat, les joueurs doivent récupérer le mieux possible entre les matchs, en incluant une démarche précise sur plan nutritionnel.

En terme d'applications pratiques, pour cela, en parallèle de ce travail de thèse, sous l'impulsion de Schuster.J, (préparateur physique en Nouvelle-Zélande), nous avons collaboré pour la production d'un article souhaitant rassembler différentes recommandations pour la performance en Rugby à 7. A cette occasion, nous avons eu l'opportunité de travailler sur **les stratégies de récupération** à mettre en place entre deux matchs, au cours d'un tournoi de Rugby à 7. Nous avons proposé une séquence de récupération « optimale » entre les matchs, au regard de l'exigence de la discipline. Les différentes étapes sont les suivantes : réhydratation et alimentation adaptées ; immersion en eau froide (10 minutes) ; compression (presso thérapie et/ou bas de contention) ; brève sieste (15 à 20 minutes) et pour faire la transition avec le match d'après, automassage avant de repartir à l'échauffement.

Pour illustrer ces propos, la **Figure 18**, présente le déroulement des différentes stratégies de récupération entre deux matchs de Rugby à 7.

Figure 18 : Exemple infographique des stratégies de récupération entre deux matchs de Rugby à 7. Extrait de Couderc dans Schuster et coll. (2016) en préparation.



D'après Couderc dans Schuster et coll. (2016) en préparation.

Respecter ce cheminement avec ses différentes étapes entre deux matchs de Rugby à 7, sera incontournable si l'on souhaite que l'ensemble des joueurs d'une même équipe, puisse aborder le match suivant dans de bonnes conditions. Dépendant du temps disponible entre les deux matchs (de 1h30 jusqu'à 3h), l'ensemble du staff (entraîneur, médecin, kinésithérapeute et préparateur physique) devra agir de concert pour proposer aux joueurs, la stratégie de récupération la plus optimale, adaptée à la situation.

VII.PERSPECTIVES

A l'issue de ce travail de thèse, plusieurs perspectives sont alors envisageables :

(1) En se basant sur l'article de Brocherie et coll. (2014) en football féminin, nous pourrions nous intéresser aux relations possibles entre les caractéristiques physiques et physiologiques des joueurs et leurs performances en match de Rugby à 7. Ces recherches pourraient nous orienter sur les **qualités physiques prédominantes** dans cette discipline.

(2) Dans l'intérêt de préciser plus encore nos analyses descriptives, nous pourrions envisager d'**affiner la définition des actions de haute intensité** en intégrant les actions de lift et de saut, en touche et en réception de coup d'envoi. En effet, ces dernières pourraient être considérées, elles aussi, comme des actions de haute intensité. Préciser le caractère des actions de combat (défensive ou offensive) pourrait aussi être riche d'informations dans le cadre de l'observation de l'impact des variables contextuelles.

(3) Au regard des travaux de Gabbett et coll. (2015) en rugby à XIII, il serait judicieux d'envisager l'analyse des **temps de récupération entre les séquences de RHIE** ainsi que le nombre de séquences de *RHIE* au regard de l'activité globale du joueur. En effet, puisque nous avons émis l'hypothèse qu'il pouvait exister des stratégies dites de « pacing » en Rugby à 7 (explicitées en revue de littérature), nous pourrions observer si en seconde période, les joueurs augmenteraient leur activité à faible intensité, stratégiquement, pour maintenir leur nombre total de séquences de *RHIE*.

(4) Le jeu des **féminines en Rugby à 7** tendant vers celui des masculins, il serait judicieux de comparer les profils physiques et physiologiques des garçons avec les données recueillies chez les féminines, en perspective de préparer l'olympiade prochaine.

VIII. CONCLUSION

Notre travail de thèse a eu pour objectif de décrire avec rigueur, une des nouvelles disciplines olympiques, le Rugby à 7, au travers des joueurs de l'équipe de France.

La première de nos études s'est centrée sur l'observation de **l'impact de variables contextuelles** sur les performances physiques et techniques des joueurs en match de Rugby à 7. Les résultats montrent que le niveau de l'adversaire ainsi que le résultat du match influencent l'activité d'un joueur. Les joueurs sont susceptibles de réaliser de meilleures performances physiques au cours de match dont l'issue est favorable. Ils sont susceptibles d'augmenter la distance totale parcourue contre un adversaire faible. Pour la première fois en Rugby à 7, nous avons montré que les performances techniques sont elles aussi influencées car des diminutions du nombre de passes et du nombre de situations où les joueurs sont porteurs de balle ont été observées lorsque l'équipe jouait contre une équipe forte.

Notre deuxième étude a appréhendé **les réponses métaboliques individuelles** des joueurs durant un tournoi international. Les résultats ont montré des relations significatives entre les concentrations de lactate et les pics d'activité enregistrés dans les trois dernières minutes de jeu, ce qui suggère que la capacité à fournir de l'énergie via la voie de la glycolyse est une exigence fondamentale dans cette discipline. Pour la première fois, nous avons démontré que l'équilibre acido-basique est modifié de façon significative en fin de match, ce qui indique que les joueurs de Rugby à 7 doivent être capables de tolérer un niveau important d'acidose due à une forte sollicitation énergétique lors des matchs internationaux.

Enfin, notre dernière étude s'est centrée sur **les actions de haute intensité** effectuées en match de Rugby à 7. Ces derniers résultats de recherche ont permis de démontrer qu'un joueur de Rugby à 7 réalise en moyenne ~ 26 actions de haute intensité par match. De plus et pour la première fois dans cette discipline, nous savons maintenant qu'environ 4 séquences de répétitions d'actions de haute intensité sont comptabilisées en match, dont la durée moyenne est d'environ 40 secondes et comprennent des temps de récupération inférieurs à 9 secondes. Ainsi, le Rugby à 7 peut être considéré comme un **sport de combat collectif de répétitions d'efforts intenses**.

Pour conclure, ces travaux de thèse vont permettre aux entraîneurs et préparateurs physiques de Rugby à 7, de pouvoir s'inspirer de nos résultats pour planifier et mettre en œuvre des entraînements spécifiques aux exigences du Rugby à 7. In fine, ils pourront alors développer chez leurs joueurs des compétences incontournables pour cette discipline, tout en prenant en compte les caractéristiques des postes et des statuts de ces derniers.

IX. BIBLIOGRAPHIE

A

Akenhead, R., French, D., Thompson, K. G., & Hayes, P. R. (2013). The acceleration dependent validity and reliability of 10Hz GPS. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.08.005>

Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 295–310.

Austin, D., Gabbett, T., & Jenkins, D. (2011). Repeated high-intensity exercise in professional rugby union. *Journal of Sports Sciences*, 29(10), 1105–1112. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.582508>

B

Bahr, R., Grønnerød, O., & Sejersted, O. M. (1992). Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 66–71.

Balsom, P. D., Seger, J. Y., Sjödín, B., & Ekblom, B. (1992a). Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *International Journal of Sports Medicine*, 13(7), 528–533. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021311>

Balsom, P. D., Seger, J. Y., Sjödín, B., & Ekblom, B. (1992b). Physiological responses to maximal intensity intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(2), 144–149.

Bangsbo, J., Krstrup, P., González-Alonso, J., & Saltin, B. (2001). ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 280(6), E956–964.

Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(1), 50–57.

Bishop, D., Edge, J., Thomas, C., & Mercier, J. (2008). Effects of high-intensity training on muscle lactate transporters and postexercise recovery of muscle lactate and hydrogen ions in women. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(6), R1991–1998. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00863.2007>

- Bishop**, D., Girard, O., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *41*(9), 741–756. <https://doi.org/10.2165/11590560-000000000-00000>
- Bogdanis**, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *80*(3), 876–884.
- Brocherie**, F., Girard, O., Forchino, F., Al Haddad, H., Dos Santos, G. A., & Millet, G. P. (2014). Relationships between anthropometric measures and athletic performance, with special reference to repeated-sprint ability, in the Qatar national soccer team. *Journal of Sports Sciences*, *32*(13), 1243–1254. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.862840>
- Brooks**, G. A. (1986). The lactate shuttle during exercise and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *18*(3), 360–368.
- Buchheit**, M., Mendez-villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(10), 709–716. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1261897>
- Buchheit**, M., Al Haddad, H., Simpson, B. M., Palazzi, D., Bourdon, P. C., Di Salvo, V., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(3), 442–445. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0187>

C

- Cahill**, N., Lamb, K., Worsfold, P., Headey, R., & Murray, S. (2013). The movement characteristics of English Premiership rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, *31*(3), 229–237. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.727456>
- Carling**, C., Le Gall, F., & Dupont, G. (2012). Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, *30*(4), 325–336. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.652655>
- Carter**, J., & Jeukendrup, A. E. (2002). Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *European Journal of Applied Physiology*, *86*(5), 435–441. <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0572-2>
- Casey**, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E., & Greenhaff, P. L. (1996). Metabolic response of type I and II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans. *The American Journal of Physiology*, *271*(1 Pt 1), E38–43.

- Couderc**, A., Thomas, C., Lacombe, M., Piscione, J., Robineau, J., Delfour-Peyrethon, R., Borne, R., Hanon, C. (2016). Movement patterns and metabolic responses during an international rugby sevens tournament. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0313>
- Coutts**, A. J., & Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 13(1), 133–135. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.09.015>
- Cross**, M. R., Brughelli, M., Brown, S. R., Samozino, P., Gill, N. D., Cronin, J. B., & Morin, J.-B. (2015). Mechanical Properties of Sprinting in Elite Rugby Union and Rugby League. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(6), 695–702. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0151>
- Cummins**, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(10), 1025–1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>

D

- Dawson**, B., Goodman, C., Lawrence, S., Preen, D., Polglaze, T., Fitzsimons, M., & Fournier, P. (1997). Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprint efforts. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 7(4), 206–213.
- Deutsch**, M. U., Maw, G. J., Jenkins, D., & Reaburn, P. (1998). Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 16(6), 561–570. <https://doi.org/10.1080/026404198366524>
- Deutsch**, M. U., Kearney, G. A., & Rehrer, N. J. (2007). Time - motion analysis of professional rugby union players during match-play. *Journal of Sports Sciences*, 25(4), 461–472. <https://doi.org/10.1080/02640410600631298>
- Dobson**, & Keogh. (2007). Methodological issues for the application of time - motion analysis research, pp. 29(2), 48 – 55.
- Duffield**, R., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 299–307. <https://doi.org/10.1080/02640410410001730043>
- Duffield**, R., Reid, M., Baker, J., & Spratford, W. (2010). Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of movement patterns in confined spaces for court-based sports. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 13(5), 523–525

Duncan, S., Stewart, T. I., Oliver, M., Mavoa, S., MacRae, D., Badland, H. M., & Duncan, M. J. (2013). Portable global positioning system receivers: static validity and environmental conditions. *American Journal of Preventive Medicine*, *44*(2), e19–29. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.10.013>

Duthie, G., Pyne, D., & Hooper, S. (2003). Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *33*(13), 973–991.

Duthie, G., Pyne, D., & Hooper, S. (2005). Time motion analysis of 2001 and 2002 super 12 rugby. *Journal of Sports Sciences*, *23*(5), 523–530. <https://doi.org/10.1080/02640410410001730188>

Dwyer, D. B., & Gabbett, T. J. (2012). Global positioning system data analysis: velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, *26*(3), 818–824. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182276555>

E

Edge, J., Eynon, N., McKenna, M. J., Goodman, C. A., Harris, R. C., & Bishop, D. J. (2013). Altering the rest interval during high-intensity interval training does not affect muscle or performance adaptations. *Experimental Physiology*, *98*(2), 481–490. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2012.067603>

Elloumi, M., Makni, E., Moalla, W., Bouaziz, T., Tabka, Z., Lac, G., & Chamari, K. (2012). Monitoring training load and fatigue in rugby sevens players. *Asian Journal of Sports Medicine*, *3*(3), 175–184.

F

Fuller (2010). Should player fatigue be the focus of injury prevention strategies for international rugby sevens tournaments ?

Furlan, N., Waldron, M., Shorter, K., Gabbett, T. J., Mitchell, J., Fitzgerald, E., Gray, A. J. (2015). Running Intensity Fluctuations in Elite Rugby Sevens Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0315>

Furlan, N., Waldron, M., Osborne, M., & Gray, A. J. (2016). Ecological Validity and Reliability of the Rugby Sevens Simulation Protocol (R7SP). *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–22. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0487>

G

- Gabbett**, T. J., Jenkins, D. G., & Abernethy, B. (2012). Physical demands of professional rugby league training and competition using microtechnology. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 15(1), 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.07.004>
- Gabbett**, T. J. (2013). Influence of the opposing team on the physical demands of elite rugby league match play. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 27(6), 1629–1635. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318274f30e>
- Gabbett**, T. J. (2014). Influence of ball-in-play time on the activity profiles of rugby league match-play. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000446>
- Gabbett**, T. J. (2015). Relationship Between Accelerometer Load, Collisions, and Repeated High-Intensity Effort Activity in Rugby League Players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 29(12), 3424–3431. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001017>
- Gaitanos**, G. C., Williams, C., Boobis, L. H., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 75(2), 712–719.
- Gastin**, P. B., McLean, O. C., Breed, R. V. P., & Spittle, M. (2014). Tackle and impact detection in elite Australian football using wearable microsensor technology. *Journal of Sports Sciences*, 32(10), 947–953. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.868920>
- Girard**, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(8), 673–694. <https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>
- Glaister**, M. (2005). Multiple sprint work : physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(9), 757–777.
- Goodale**, T. L., Gabbett, T. J., Stellingwerff, T., Tsai, M.-C., & Sheppard, J. M. (2016). Relationship Between Physical Qualities and Minutes Played in International Women's Rugby Sevens. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(4), 489–494. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0509>

Granatelli, G., Gabbett, T. J., Briotti, G., Padulo, J., Buglione, A., D'Ottavio, S., & Ruscello, B. M. (2014). Match analysis and temporal patterns of fatigue in rugby sevens. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 28(3), 728–734. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31829d23c3>

H

Hanon, C., & Gajer, B. (2009). Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 23(2), 524–531. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194e071>

Hanon, C., Lepretre, P.-M., Bishop, D., & Thomas, C. (2010). Oxygen uptake and blood metabolic responses to a 400-m run. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 233–240. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1339-4>

Hanon, C., Savarino, J., & Thomas, C. (2015). Blood lactate and acid-base balance of world-class amateur boxers after three 3-minute rounds in international competition. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 29(4), 942–946. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000736>

Harley, J. A., Lovell, R. J., Barnes, C. A., Portas, M. D., & Weston, M. (2011). The interchangeability of global positioning system and semiautomated video-based performance data during elite soccer match play. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 25(8), 2334–2336. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f0a88f>

Harper, L. D., Clifford, T., Briggs, M. A., McNamee, G., West, D. J., Stevenson, E., & Russell, M. (2015). The effects of 120 minutes of simulated match-play on indices of acid-base balance in professional academy soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001271>

Harris, R. C., Edwards, R. H., Hultman, E., Nordesjö, L. O., Ny Lind, B., & Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, 367(2), 137–142.

Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 432–441. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0121>

- Hausler**, J., Halaki, M., & Orr, R. (2016). Application of Global Positioning System and Microsensor Technology in Competitive Rugby League Match-Play: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(4), 559–588. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0440-6>
- Higham**, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., & Eddy, A. (2012). Movement patterns in rugby sevens: effects of tournament level, fatigue and substitute players. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 15(3), 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.11.256>
- Higham**, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., & Eddy, A. (2013). Physiological, anthropometric, and performance characteristics of rugby sevens players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(1), 19–27.
- Higham**, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., Dziedzic, C. E., & Slater, G. J. (2014). Distribution of fat, non-osseous lean and bone mineral mass in international Rugby Union and Rugby Sevens players. *International Journal of Sports Medicine*, 35(7), 575–582. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1355419>
- Higham**, D. G., Hopkins, W. G., Pyne, D. B., & Anson, J. M. (2014). Performance indicators related to points scoring and winning in international rugby sevens. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(2), 358–364.
- Higham**, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., Hopkins, W. G., & Eddy, A. (2016). Comparison of Activity Profiles and Physiological Demands Between International Rugby Sevens Matches and Training. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 30(5), 1287–1294. <https://doi.org/10.1097/JSC.0000000000000212>
- Hirvonen**, J., Rehunen, S., Rusko, H., & Härkönen, M. (1987). Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(3), 253–259.
- Hopkins**, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hughes**, M., & Jones, R. (2005). Patterns of Play of Successful and Unsuccessful Teams in Men's 7-a-Side Rugby Union. In *Science and Football V: The Proceedings of the Fifth World Congress on Science and Football* (Routledge, pp. 247–252).

J

Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L., & Aughey, R. J. (2010). The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 328–341.

Johnston, R. J., Watsford, M. L., Pine, M. J., Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Pruyne, E. C. (2012). The validity and reliability of 5-Hz global positioning system units to measure team sport movement demands. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(3), 758–765. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318225f161>

Juel, C. (1996). Lactate/proton co-transport in skeletal muscle: regulation and importance for pH homeostasis. *Acta Physiologica Scandinavica*, 156(3), 369–374. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1996.206000.x>

Juel, C. (2008). Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. *Acta Physiologica (Oxford, England)*, 193(1), 17–24. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2008.01840.x>

K

Kempton, T., & Coutts, A. J. (2015). Factors affecting exercise intensity in professional rugby league match-play. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.06.008>

Knicker, A. J., Renshaw, I., Oldham, A. R. H., & Cairns, S. P. (2011). Interactive processes link the multiple symptoms of fatigue in sport competition. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(4), 307–328. <https://doi.org/10.2165/11586070-000000000-00000>

Kristensen, J. M., Kristensen, M., & Juel, C. (2004). Expression of Na⁺/HCO₃⁻ co-transporter proteins (NBCs) in rat and human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 182(1), 69–76. <https://doi.org/10.1111/j.1365-201X.2004.01297.x>

Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(6), 1165–1174. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd>

L

Lacome, M., Piscione, J., Hager, J.-P., & Bourdin, M. (2014). A new approach to quantifying physical demand in rugby union. *Journal of Sports Sciences*, 32(3), 290–300. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.823225>

Lacour, J. R., Bouvat, E., & Barthélémy, J. C. (1990). Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(3-4), 172–176.

Léger, L., & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquées Au Sport*, 5(2), 77–84.

Lovell, R., & Abt, G. (2013). Individualization of time-motion analysis: a case-cohort example. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(4), 456–458.

M

Macleod, A. E. (2016). *A comparison of the physiological demands of rugby union match-play when determined by absolute (ABS) or individual (IND) velocity bands in Global Positioning System (GPS) analysis* (MSc(R)). University of Glasgow.

Malone, J. J., Lovell, R., Varley, M. C., & Coutts, A. J. (2016). Unpacking the Black Box: Applications and Considerations for Using GPS Devices in Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–30. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0236>

McMahon, S., & Jenkins, D. (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(12), 761–784.

Mendez-Villanueva, A., Edge, J., Suriano, R., Hamer, P., & Bishop, D. (2012). The recovery of repeated-sprint exercise is associated with PCr resynthesis, while muscle pH and EMG amplitude remain depressed. *PloS One*, 7(12), e51977. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051977>

Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 101–110. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1306323>

Messonnier, L., Kristensen, M., Juel, C., & Denis, C. (2007). Importance of pH regulation and lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 102(5), 1936–1944. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00691.2006>

Montgomery, D. L. (1988). Physiology of ice hockey. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 5(2), 99–126.

Murray, A. M., & Varley, M. C. (2014). Activity Profile of International Rugby Sevens: Effect of Scoreline, Opponent and Substitutes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0004>

N

Nagahara, R., Botter, A., Rejc, E., Koido, M., Shimizu, T., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2016). Concurrent Validity of GPS for Deriving Mechanical Properties of Sprint Acceleration. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–14. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0566>

Nevill, A. M., Newell, S. M., & Gale, S. (1996). Factors associated with home advantage in English and Scottish soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 14(2), 181–186. <https://doi.org/10.1080/02640419608727700>

P

Paul, D. J., Bradley, P. S., & Nassis, G. P. (2015). Factors affecting match running performance of elite soccer players: shedding some light on the complexity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 516–519. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2015-0029>

Peeters, A., Bertrand, M., Piscione, J., & Lacombe, M. (2016). Validity and Reliability of a new 16 Hz Global Positioning System. *European Congress Sport Science*. Vienne.

Petersen, C., Pyne, D., Portus, M., & Dawson, B. (2009). Validity and reliability of GPS units to monitor cricket-specific movement patterns. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 381–393.

Pilegaard, H., & Juel, C. (1995). Lactate transport studied in sarcolemmal giant vesicles from rat skeletal muscles: effect of denervation. *The American Journal of Physiology*, 269(4 Pt 1), E679–682.

R

- Randers**, M. B., Mujika, I., Hewitt, A., Santisteban, J., Bischoff, R., Solano, R., ... Krstrup, P. (2010). Application of four different football match analysis systems: a comparative study. *Journal of Sports Sciences*, 28(2), 171–182. <https://doi.org/10.1080/02640410903428525>
- Ratel**, S., Bedu, M., Hennegrave, A., Doré, E., & Duché, P. (2002). Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 397–402. <https://doi.org/10.1055/s-2002-33737>
- Reilly**, T., & thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play., pp. 2:87–97.
- Rienzi**, E., Reilly, T., & Malkin, C. (1999). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of Rugby Sevens players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39(2), 160–164.
- Ross**, A., Gill, N., & Cronin, J. (2014a). Match analysis and player characteristics in rugby sevens. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(3), 357–367
- Ross**, A., Gill, N. D., & Cronin, J. B. (2014b). Comparison of the Anthropometric and Physical Characteristics of International and Provincial Rugby Sevens Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0331>
- Ross**, A., Gill, N., & Cronin, J. (2015). The match demands of international rugby sevens. *Journal of Sports Sciences*, 33(10), 1035–1041
- Russell**, M., & Kingsley, M. I. C. (2012). Changes in Acid-base balance during simulated soccer match play. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(9), 2593–2599. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f284e>

S

- Samozino**, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 313–322. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822d757a>
- Samozino**, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J.-B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(6), 648–658. <https://doi.org/10.1111/sms.12490>

- Schuster**, J., Howells, D., Robineau, J., Couderc, A., Natera, A., Lumley, N., Gabbett, T., Winkelman., McMaster., T. Physical Preparation recommendations for elite rugby sevens performance. (en préparation, 2016)
- Shulman**, R. G., & Rothman, D. L. (2001). The “glycogen shunt” in exercising muscle: A role for glycogen in muscle energetics and fatigue. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(2), 457–461
- Söderlund**, K., Greenhaff, P. L., & Hultman, E. (1992). Energy metabolism in type I and type II human muscle fibres during short term electrical stimulation at different frequencies. *Acta Physio Scandinavica*, 144(1), 15–22. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1992.tb09262.x>
- Spencer**, M., Lawrence, S., Rechichi, C., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2004). Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *Journal of Sports Sciences*, 22(9), 843–850. <https://doi.org/10.1080/02640410410001716715>
- Spencer**, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(12), 1025–1044.
- Stanley**, W. C., Gertz, E. W., Wisneski, J. A., Neese, R. A., Morris, D. L., & Brooks, G. A. (1986). Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 60(4), 1116–1120.
- Stanula**, A. J., Gabryś, T. T., Rocznik, R. K., Szmatlan-Gabryś, U. B., Ozimek, M. J., & Mostowik, A. J. (2016). Quantification of the Demands During an Ice-Hockey Game Based on Intensity Zones Determined From the Incremental Test Outcomes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 30(1), 176–183. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001081>
- Stølen**, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(6), 501–536.
- Suarez-Arrones**, L. J., Nuñez, F. J., Portillo, J., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Running demands and heart rate responses in men Rugby Sevens. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(11), 3155–3159. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318243fff7>
- Suarez-Arrones**, L., Arenas, C., López, G., Requena, B., Terrill, O., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Positional differences in match running performance and physical collisions in men rugby sevens. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 316–323. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0069>

Suarez-Arrones, L., Núñez, J., Sáez de Villareal, E., Gálvez, J., Suarez-Sanchez, G., & Munguía-Izquierdo, D. (2015). Repeated-High Intensity Running Activity and Internal Training Load of Elite Rugby Sevens Players During International Matches: A Comparison Between Halves. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

T

Taylor, J. B., Mellalieu, S. D., James, N., & Shearer, D. A. (2008). The influence of match location, quality of opposition, and match status on technical performance in professional association football. *Journal of Sports Sciences*, 26(9), 885–895. <https://doi.org/10.1080/02640410701836887>

Townshend, A. D., Worringham, C. J., & Stewart, I. B. (2008). Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(1), 124–132. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181590bc2>

V

Valter, D. S., Adam, C., Barry, M., & Marco, C. (2006). Validation of Prozone ®: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(1), 108–119.

Van Rooyen et coll. Playing Demands of Sevens Rugby during the 2005 Rugby World Cup Sevens Tournament, p. Volume 8, Number 2, July 2008, pp. 114–123(10).

Varley, M. C., Fairweather, I. H., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 121–127. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.627941>

W

Waldron, M., Worsfold, P., Twist, C., & Lamb, K. (2011). Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables. *Journal of Sports Sciences*, 29(15), 1613–1619

Waldron, M., & Highton, J. (2014). Fatigue and pacing in high-intensity intermittent team sport: an update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(12), 1645–1658. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0230-6>

Winterbottom (1952). Soccer coaching.

Winter, E. M., Abt, G. A., & Nevill, A. M. (2014). Metrics of meaningfulness as opposed to sleights of significance. *Journal of Sports Sciences*, 32(10), 901–902

X.ANNEXES

Annexe 1

COUDERC.A, THOMAS.C, LACOME.M, PISCIONE.J, ROBINEAU.J, DELFOUR-PEYRETHON.R, BORNE.R, HANON.C (2016). Movement Patterns and Metabolic Responses During an International Rugby Sevens Tournament.

International Journal of Sports Physiology and Performance.

Acceptée. <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0313>

Annexe 2

COUDERC.A, PISCIONE.J, ROBINEAU.J, IGARZA.G, THOMAS.C, HANON.C, LACOME.M (2016). Impact of Contextual Variables on Running and Skill-Related Performance in International Rugby Sevens.

PLOS One.

Soumise en Septembre 2016

Annexe 3

MARRIER.B, LE MEUR.Y, ROBINEAU.J, LACOME.M, **COUDERC.A**, HAUSSWIRTH.C, PISCIONE.J, MORIN.JB (2016). Quantifying Neuromuscular Fatigue Induced by an Intense Training Session in Rugby Sevens.

International Journal of Sports Physiology and Performance.

Acceptée. <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0030>

Annexe 4

SCHUSTER.J, HOWELLS.D, ROBINEAU.J, **COUDERC.A**, NATERA.A, LUMLEY.N, GABBETT.T, WINKELMAN.N, McMASTER.T (2016). Physical preparation recommendations for elite rugby sevens performance.

International Journal of Sports Physiology and Performance.

Soumise en Novembre 2016



Movement Patterns and Metabolic Responses During an International Rugby Sevens Tournament

Journal:	<i>International Journal of Sports Physiology and Performance</i>
Manuscript ID	IJSPP.2016-0313.R4
Manuscript Type:	Original Investigation
Keywords:	Team sport, GPS, high-speed running, lactate, acidosis

SCHOLARONE™
Manuscripts

Peer Review

1 Movement Patterns and Metabolic Responses During an
2 International Rugby Sevens Tournament

3
4 **Section:** Original Investigation

5
6 **Authors:** Anthony Couderc^{1,2}, Claire Thomas^{1,3}, Mathieu Lacomé², Julien Piscione², Julien
7 Robineau², Rémi Delfour-Peyrethon¹, Rachel Borne¹, Christine Hanon⁴

8
9 **Affiliations:**

10 ¹ French National Institute of Sports (INSEP) Sport Expertise and Performance Laboratory
11 EA7370, 11 Tremblay Avenue, 75012 Paris, France

12 ² French Rugby Federation (FFR), 3-5 rue Jean de Montaigu, 91463 Marcoussis, France

13 ³ University of Evry Val d'Essonne, STAPS department, François Mitterrand Boulevard,
14 91025 Evry, France

15 ⁴ French National Institute of Sports (INSEP), 11 avenue du Tremblay 75012- Paris, France

16
17 **Corresponding Author:**

18 Anthony Couderc

19 FFR - Direction Sportive, 3-5 rue Jean de Montaigu, 91463 Marcoussis, France

20 Email: anthony.couderc@ffr.fr, Phone number: 33 169 636 484/33 616 272 285

21
22 **Running Head:** Metabolic responses during international rugby sevens matches.

23
24 **Abstract word count:** 237

25
26 **Text only word count:** 3592

27
28 **Number of tables:** 3 tables

1 **Abstract**

2 **Purpose:** This study investigated the running-demands and associated metabolic perturbations
3 during an official rugby sevens tournament. **Methods:** Twelve elite players participated in
4 seven matches wearing Global Positioning System units. Maximal sprinting speed (MSS) and
5 maximal aerobic speed (MAS) were measured. High-intensity threshold was individualized
6 relative to MAS (>100% of MAS) and very high-intensity distance were reported relative to
7 both MAS and MSS. Blood samples were taken at rest and after each match. **Results:**
8 Comparison of pre-match and post-match samples revealed significant ($p<0.01$) changes in
9 pH (7.41 to 7.25), bicarbonate concentration ($[\text{HCO}_3^-]$) (24.8 to 13.6 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) and lactate
10 concentration ($[\text{La}]$) (2.4 to 11.9 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$). Mean relative total distance covered was 91 ± 13
11 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ with ~ 17 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ at high-intensity. Player status (whole match or interchanged
12 players), match time, and total distance covered had no significant impact on metabolic
13 indices. Relative distance covered at high-intensity was negatively correlated with pH and
14 $[\text{HCO}_3^-]$ ($r=0.44$ and $r=0.42$, respectively; $p<0.01$), and positively correlated with $[\text{La}]$
15 ($r=0.36$; $p<0.01$). Total distance covered and distance covered at very high-intensity during
16 the 1-min peak activity in the last three minutes of play were correlated with $[\text{La}]$ ($r=0.39$ and
17 $r=0.39$, respectively; $p<0.01$). **Conclusions:** Significant alterations in blood metabolite indices
18 from pre-match to post-match sampling suggest that players were required to tolerate a
19 substantial level of acidosis related to metabolite accumulation. Also, the ability to produce
20 energy via the glycolytic energy pathway seems to be a major determinant in match-related
21 running performance.

22 **Keywords:** Team sport, GPS, high-speed running, lactate, acidosis

23

1. INTRODUCTION

Over recent years, rugby sevens has undergone considerable development and taken on a more professional dimension since its introduction into the 2016 Olympic Games. The game is played using similar rules and pitch to rugby union, but differs by the number of players (7 per team), duration of halves (7-min interspaced with 2-min recovery) and the general organization of the competitions (2- or 3-day tournaments).

Research on match-play performance in rugby sevens has mainly focused on physical demands⁽¹⁻⁴⁾, using Global Positioning Systems (GPS) with little work devoted to physiological responses⁽⁵⁾. Studies generally report that the running based demands in sevens are greater compared with running activities observed in elite rugby union competitions^(4,6). Indeed, rugby sevens players are required to cover 106-120 m.min⁻¹^(4,6) while rugby union players cover ~ 70 m.min⁻¹⁽⁷⁾. Moreover, rugby sevens players cover a higher proportion of that distance at high speeds (17.1% vs. 7.7-11.9% in rugby sevens⁽⁴⁾ and rugby union⁽⁸⁾ respectively) suggesting different physiological demands. According to Higham et al.⁽⁶⁾, rugby sevens players require superior aerobic and anaerobic endurance capacities compared to rugby union players as they must tolerate the larger running based demands experienced in match play.

The larger running based demands reported during rugby sevens matches, especially in the high-speed zone, are associated with larger metabolic perturbations compared to rugby union. Indeed, blood lactate concentration ([La]) measured at the end of the match (11.2±1.4 mmol.L⁻¹)⁽⁵⁾ is greater than following a rugby union match (2.8±1.6 mmol.L⁻¹)⁽⁹⁾. However, [La] reflects exercise intensity for the few minutes preceding sampling⁽¹⁰⁾ and, as highlighted by Duthie et al.⁽¹¹⁾, may not be related to the specific periods of intense activity occurring during the match, leading to an underestimation of the anaerobic contribution. As small to moderately elevated [La] during an extended period of time could significantly reduce the buffer capacity resulting in a decreased pH⁽¹²⁾, blood metabolic perturbations remains to be investigated in rugby sevens during international tournament. While [La] has been investigated⁽⁵⁾ no study has yet assessed acid-base balance indices during and following rugby sevens matches. Furthermore, a relationship has been reported between decreases in sprint performance and decreases in blood pH⁽¹³⁾ and blood [HCO₃⁻]⁽¹⁴⁾ in team sport players and

1 athletes respectively. While similar data have not been reported for competitive rugby sevens
2 matches, it is likely that similar changes occur and that they may contribute to alterations in
3 movement patterns and potentially impair repeated-sprint performance. Given the players'
4 capacity to perform high-intensity running actions during rugby sevens matches⁽¹⁵⁾, it may be
5 hypothesized that a large proportion of the energy expenditure is supplied via glycolytic
6 metabolic pathways that in turn could lead to large alterations in the acid-base balance.

7
8 In order to better estimate these high-intensity running based demands and assess potential
9 relationships with the metabolic perturbations, Abt et al.⁽¹⁶⁾ propose the use of an
10 individualized high-intensity speed threshold. Indeed, utilization of default or absolute speed
11 zones is likely to result in the over- or underestimation of the high speed running demands of
12 rugby players⁽¹⁷⁾. Moreover, a moderate variability in physiological characteristics has been
13 reported across rugby sevens players⁽⁶⁾, especially in aerobic performance (coefficient of
14 variation ~10% for VO_{2max} and the velocity at VO_{2max}). Thus, using individualized velocity
15 thresholds tailored to maximal aerobic velocity and maximal sprint velocity seems an
16 appropriate approach to better understand the external load imposed on players and the
17 potential link with [La] production and acid-base perturbations.

18
19 Consequently, the aim of this study was to quantify the running based demands of rugby
20 sevens matches and investigate the acid-base balance status during an international
21 tournament. Furthermore, relationships between metabolic responses and running based
22 demands both during the complete match and the last 3-min of play were observed.

23

2. METHODS

Subjects

Twelve elite players belonging to the French National rugby sevens team (age: 26.2 ± 3.7 years; height: 183.5 ± 9.3 cm; body mass: 90.6 ± 12.5 kg; maximal aerobic speed (MAS): 4.76 ± 0.20 m.s⁻¹; maximal sprinting speed (MSS): 9.01 ± 0.29 m.s⁻¹) participated. During the season, the players competed in the HSBC World Sevens Series, the highest level of rugby sevens competition. Prior to participation in the European sevens championship and in compliance with the recommendations of the Declaration of Helsinki, all players received comprehensive oral and written explanations about the study and gave their written informed consent to participate. The study was approved by the local ethics committee of the French National Institute of Sports.

Design

Two weeks before the “Sevens Grand Prix Series” 2013 tournament (France), part of the European sevens championship, each player’s maximal aerobic speed (MAS) and maximal sprinting speed (MSS) were assessed to allow individualization of running speeds. During the tournament, the French team played four matches on a Saturday and three on a Sunday interspaced by $2\text{h}57\text{min} \pm 1\text{h}05\text{min}$. All the matches were played on the same standard outdoor natural grass pitches (100 x 70 m), in a stable ambient temperature (22-25°C). Matches were played between 10.00 a.m. and 7.00 p.m. Running performance was assessed using GPS technology. Blood samples were obtained from each player at rest and three minutes after that player left the field or after the end of each match.

Procedure

Determination of Maximal Aerobic Speed

MAS was determined using an intermittent progressive running test (adapted from the test described by Leger and Boucher)⁽¹⁸⁾ consisting of 3-min running bouts interspersed with 1-min passive rest on a tartan outdoor track. Velocity was increased by 2 km.h⁻¹ from 8 to 12 km.h⁻¹ and then by 1 km.h⁻¹ until voluntary exhaustion. The velocity at the last completed stage was considered MAS.

Determination of Maximal Sprinting Speed

Before the test, all players undertook a 20-min warm-up consisting of submaximal running, dynamic stretching, technical drills, and striding efforts at approximately 90-95% of MSS. The players were then asked to perform two maximal 60-m sprints separated by 5 min of recovery on natural grass. MSS was defined as the fastest speed reached over any 10-m sector measured during the 60-m sprint. The timing gate system (Smartspeed, Fusion Sport, Australia) was set at 10-m intervals. Players began each sprint using the same standing start position with their front foot 0.5-m behind the first timing gate and were instructed to sprint as fast as possible over the 60-m distance. This distance was adopted to allow all players to reach MSS according to previous analysis⁽¹⁹⁾.

Data collection and analysis during the European tournament

Running performance: During each match, players wore a GPS unit capturing data at 8 Hz (SensorEverywhere, Digital Simulation, France) (mass: 87 g; dimension: 102 x 52 x 19 mm) in a customised pocket placed in their shirt and located between the scapulas as reported in earlier studies⁽¹⁻³⁾. Fifteen minutes before the start of each match, the GPS unit was activated in order to ensure exposure to clear satellite reception. The number of satellites during data collection was 7 ± 0.7 . Velocity data were calculated using the Doppler shift method as opposed to the differentiation of positional data, as this method is associated with a higher level of precision⁽²⁰⁾. To limit potential inter-unit variability, each player wore the same unit for the total duration of the competition. The GPS data were captured and computed with SensorEverywhere software (Digital Simulation, France). Preliminary work (unpublished data) was conducted to assess the quality of the GPS data in comparison with timing gate measurements. A trivial bias between velocity measured with the GPS and the timing gates ($0.11, \pm 0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and a trivial Typical Error of Measurement (TEM, $0.04, \pm 0.01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 90% confidence intervals) was reported. There was a low between-units TEM over the various constant speed tested ($0.5, \pm 0.15$ to $0.6, \pm 0.35\%$ from walk to sprint respectively).

Players were categorized as those starting and completing the match (whole match) and interchanged players (players either replacing or being replaced by another player).

MAS, MSS and anaerobic speed reserve (ASR) (difference between MSS and MAS; i.e $4.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ if MAS is 5.0 and MSS is $9.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ respectively), were used to individualize the speed threshold in accordance with Mendez-Villanueva et al.⁽²¹⁾. Three running intensity zones

1 were established. Low and high intensity were defined relative to MAS as it empirically
2 determines a threshold quantifying the body's functional limits for endurance performance as
3 follow: Low-intensity: below 100% of MAS; High-intensity: above 100% of MAS; Very
4 high-intensity (i.e above $6.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) was compute from the addition of MAS (i.e $5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and
5 30% of ASR (i.e $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

6

7 Physical performance was assessed during the entire match. Furthermore, each player's 1-min
8 peak activity was analyzed using an 8 Hz rolling average, as in previous studies^(22,23). In this
9 study, the 1-min peak activity was only analyzed during the last 3-min before the end of the
10 match or the substitution of the player.

11

12 Blood testing:

13 Blood was sampled from the fingertip, prior to the start of each warm-up (Pre) and then three
14 minutes after the end of the 7 matches or 3-min after the time of substitution (Post). i-STAT
15 dry chemistry analyzers (Abbott, Les Ulis, France) were used to assess blood pH, $[\text{HCO}_3^-]$
16 and $[\text{La}]$ immediately after collection. Given the international tournament context, only one
17 sample could be drawn from each player. Thus, samples were analysed 3-min post players
18 leaving the field (end of match or substitution) based on peak response occurring around this
19 time (unpublished data).

20

21 **Statistical Analyses**

22 Data are presented as mean \pm standard deviation (SD). Match-related running- performance
23 was analyzed using one-way ANOVA. A one-way repeated measures ANOVA was used to
24 identify differences between blood indices before and after matches. In the event of a
25 significant ANOVA, Tukey HSD post-hoc analysis were applied. Statistica 8.0 software
26 (Statsoft, Tulsa, USA) was used for all tests. The level of significance was set at $p < 0.05$.
27 Variability of selected running- related performance or blood parameters were assessed using
28 coefficients of variation (CV).

29

30 A magnitude-based inferential approach to statistics was also adopted based on recent
31 recommendations^(24,25). Effect sizes (ES) were quantified to indicate the practical
32 meaningfulness of the differences in mean values. Standardization was performed with the
33 estimated marginal means and associated variance provided by the *generalized linear model*.
34 The ES was classified as trivial (< 0.2), small ($> 0.2 - 0.6$), moderate ($> 0.6 - 1.2$), large ($> 1.2 - 2.0$)

1 and very large ($>2.0-4.0$) based on the guidelines of Batterham and Hopkins⁽²⁶⁾. If the 90% CI
2 over-lapped positive and negative values, the magnitude was deemed unclear. The chances
3 that the metabolic concentrations were greater (i.e., greater than the smallest worthwhile
4 change, SWC (0.2 multiplied by the between-subject standard deviation, based on Cohen's d
5 principle)), similar or smaller at the end of the game were calculated. Quantitative chances of
6 greater or smaller changes in performance variable were assessed qualitatively as follows:
7 $<1\%$, almost certainly not; $1-5\%$, very unlikely; $5-25\%$, probably not; $25-75\%$, possibly; $75-$
8 97.5% , likely; $97.5-99\%$, very likely; $>99\%$, almost certain⁽²⁶⁾.

9
10 Linear regression with Pearson's coefficients were used to establish the potential relationships
11 between blood indices and physical performance. The magnitude of correlation (r) were
12 assessed as follow : <0.1 , trivial; $>0.1-0.3$, small; $>0.3-0.5$, moderate; $>0.5-0.7$, large; $>0.7-$
13 0.9 very large and $>0.9-1.0$, almost perfect. If the 90% CI overlapped small positive (>0.3)
14 and negative values (<-0.3), the magnitude was deemed unclear; otherwise that magnitude
15 was deemed to be the observed magnitude⁽²⁶⁾.

16
17
18

3. RESULTS

Description of movement patterns

For all players (whole-match and interchanged players), the relative distance covered was 91 ± 13 m.min⁻¹ ranging from 65 to 122 m.min⁻¹; distance covered at low intensity was 73 ± 10 m.min⁻¹; distance covered at high intensity was 17 ± 7 m.min⁻¹ and distance covered at very high intensity was 6 ± 4 m.min⁻¹.

Running demands for whole-match players and interchanged players during the tournament are presented in Table 1. No significant difference was observed between whole-match and interchanged players when total distance covered were expressed relative to playing time. Interchanged players covered significantly more relative high intensity distance compared with whole match players (18.8 ± 8.1 vs. 14.5 ± 4.8 m.min⁻¹; $p=0.026$; likely moderate).

INSERT TABLE 1

Description of physiological responses

For all players, mean post-match pH was 7.26 ± 0.08 , $[\text{HCO}_3^-]$ was 13.8 ± 3.5 mmol.L⁻¹ and $[\text{La}]$ was 11.7 ± 3.7 mmol.L⁻¹.

As reported in Table 2, pH and $[\text{HCO}_3^-]$ significantly decreased post-match compared with pre-match ($p < 0.001$; most likely very large) both in whole-match and interchanged players. $[\text{La}]$ significantly increased post-match compared with pre-match ($p < 0.001$; most likely very large) both in whole-match and interchanged players. Player status (whole-match or interchanged) and match-play time had no impact on post-match pH, $[\text{HCO}_3^-]$ and $[\text{La}]$.

During the tournament, the mean individual lowest value attained by the players for pH and $[\text{HCO}_3^-]$ was 7.17 ± 0.06 and 10.2 ± 2.0 mmol.L⁻¹ respectively and the mean individual highest value reached for blood lactate was 16.3 ± 2.4 mmol.L⁻¹.

INSERT TABLE 2

Relationships between movement patterns and physiological responses

Table 3 present the relationships between match-related running performance and $[\text{La}]$, pH and $[\text{HCO}_3^-]$ observed at the end of the match.

1 There was no evidence of any relationship between absolute or relative ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$) total
2 distance covered during the match and any of the metabolic variables. There were moderate
3 and small significant relationships between relative high-intensity and very high-intensity
4 distance covered during the match and $[\text{La}]_{\text{post}}$ ($r=0.36$ and 0.27 respectively), pH_{post} ($r=-0.44$
5 and -0.26 respectively) and $[\text{HCO}_3^-]_{\text{post}}$ ($r=-0.42$ and -0.28 respectively).
6

7 There was significant relationships between match-related physical performance in the final
8 3-min of play and metabolic variables. Relative distance covered at high intensity was
9 moderately inversely correlated with pH_{post} and $[\text{HCO}_3^-]_{\text{post}}$ ($r=-0.44$ and $r=-0.42$, respectively;
10 $p<0.001$ and $p=0.002$) and moderately positively correlated with $[\text{La}]_{\text{post}}$ ($r=0.36$; $p=0.007$).
11 Total distance covered and distance covered at very high intensity during 1-min peak activity
12 were moderately correlated with $[\text{La}]_{\text{post}}$ ($r=0.39$ and $r=0.39$ respectively; $p=0.004$ and
13 $p=0.003$). Total distance covered, high-intensity distance and very high-intensity distance
14 covered during the 1-min peak activity was inversely correlated with pH_{post} and $[\text{HCO}_3^-]_{\text{post}}$
15 (range : $r=-0.30$ to -0.39 ; $p<0.05$).
16

17 # INSERT TABLE 3 #

4. DISCUSSION

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33

In order to better apprehend the physiological demands placed upon rugby sevens players during an international tournament, this study aimed to characterize running movement patterns and corresponding acid-base responses to provide an accurate assessment of competitive demands for each player. Results showed that international rugby sevens players must cope with running based demands above $90 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ and tolerate more than $17 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ at high-intensity. This study characterized $[\text{La}]$ and acid-base balance (pH and $[\text{HCO}_3^-]$) of rugby sevens players during an international tournament. Significant relationships between $[\text{La}]$ and 1-min peak activity demands in the final three minutes of play were reported, suggesting that the ability to supply energy via the glycolysis pathway is critical in rugby sevens running-performance. Finally, acid-base balance levels were significantly altered at the end of the match indicating that rugby sevens players must tolerate a substantial level of acidosis due to metabolite accumulation during international matches.

In this study, the average relative distance covered by rugby sevens players was $91 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, which was in line with previous study at european level⁽⁵⁾. However, the relative distances reported here were less than those observed in studies conducted during the IRB World Sevens Series ($106\text{-}120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$)^(1,4). This discrepancy might be explained by various contextual variables such as the playing level (European vs. World Championships) and the playing style of the teams (e.g., tactics, talent and experience). Furthermore, interchanged players covered significantly more high intensity running than whole-match players (18.8 ± 8.2 vs. $14.5\pm 4.8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$). This is in accordance with a previous study which reported that average high-speed running performance was greater (31%) in late-sub players than whole-match players⁽²³⁾. Altogether, these results demonstrate that the running based demands reported in this study was representative of running demands generally observed in elite rugby sevens competitions.

Given the need for rugby sevens players to perform high-intensity running activities⁽¹⁵⁾, the objective of this study was to investigate blood metabolic responses at the end of international matches. At the end of match-play, the participating players had mean blood $[\text{La}]$ values ($11.7\pm 3.7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) similar to previously observed values ($11.2\pm 1.4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)⁽⁵⁾, but also exhibited wide post-match variations ranging from 3.5 to $19.3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Blood $[\text{La}]$

1 variability was assessed as the coefficient of variation (CV, %) of the [La] over the course of
2 the tournament. Intra-individual variation was $32\pm 8\%$ while inter-match variation was
3 $26\pm 12\%$. This wide variation could be related to the methodology as blood samples were
4 collected 3-min after players left the field, a moment that could correspond to a low-intensity
5 period at the end of an uncontested match or to a coaching decision after an intense phase of
6 play. However, it's noteworthy that at the end of the match, mean individual peak [La] was
7 16.3 ± 2.4 mmol.L⁻¹, largely higher than values observed after soccer match play (3.4-7.2
8 mmol.L⁻¹)⁽²⁷⁻²⁹⁾ and ice hockey matches (2.9-5.5 mmol.L⁻¹)⁽³⁰⁾. The range of our data is close to
9 that observed 3-min after a 400-m run in trained athletes (13.9-21.2 mmol.L⁻¹)^(14,31),
10 suggesting a substantial contribution of glycolysis to the total energy supply. It has been
11 demonstrated that maximal lactate levels and average velocity sustained during the 400-m
12 race in highly trained athletes were largely correlated ($r=0.85$)⁽³²⁾. We observed similar
13 relationships between [La] post match and relative high intensity distance as well as relative
14 distance and high-speed distance covered during the peak 1-min of activity in the last 3-min
15 of player activity. Thus, the ability to produce energy via the glycolytic metabolic pathway
16 seems to be a critical factor related to the running-performance in elite rugby sevens players.
17 Moreover no relationships were found between [La] and total distance or relative distance
18 covered during the match despite positive relationships reported between [La] and the same
19 parameter analyzed during the 1-min peak activity in the last 3-min of play. Therefore, [La]
20 values observed at the end of the match seem only representative of the preceding period of
21 play and cannot be used as a valid criterion of the overall energetic demands of rugby sevens.

22
23 This study is the first to report that blood pH and [HCO₃⁻] values were significantly decreased
24 after rugby sevens matches. Blood pH decreased as low as 7.20 in 8 out of 12 players and
25 [HCO₃⁻] was lower than 11.0 mmol.L⁻¹ in 9 out of 12 players. The variations observed in this
26 study were larger to those previously observed in others team sports^(27,29). Indeed, post- match
27 pH values were lower than those observed in football after 90-min and 120-min of match play
28 (7.34 to 7.42)^(27,29). However, pH values measured 4-min after a 300-m performed in trained
29 runners (7.16 ± 0.05) were closer to our data⁽¹⁴⁾. This information indicates that all players need
30 to be prepared to tolerate substantial level of acidosis⁽³³⁾ at least one time in a tournament. It
31 has been demonstrated that acidosis may impair performance in 400m⁽¹⁴⁾ and multiple sprint
32 activities⁽³⁴⁾ through indirect mechanisms such as its potential role in glycolytic inhibition⁽³⁴⁾
33 or via the stimulation of group III and IV muscle afferents which therefore may cause central
34 fatigue⁽³⁵⁾. As previously demonstrated for [La], [HCO₃⁻] and pH values reported at the

1 end of the match are more representative of the preceding period of play than the overall
2 game demand and could under-estimate the level of acidosis that players need to tolerate.
3 Further studies are needed to confirm if the perturbation of acid-base balance observed in this
4 study could be linked to end-game performance decrement observed in rugby sevens^(1,5).
5 Meanwhile, in order to limit acidosis and the associated potential decreased in performance,
6 players should benefit from development of specific muscle buffer capacities.

7
8 The running based demands and corresponding [La] and acid-base response observed in
9 rugby sevens players during an international tournament clearly indicate that conditioning
10 programs should be designed specifically for the intense demands of this sport, with particular
11 focus on training to simulate the very high glycolysis rates developed during high-intensity
12 periods of rugby sevens match play. Indeed, very high-intensity running sequences (with 8-10
13 m.min⁻¹ at very high-intensity) during training with sufficient aerobic stimulus (90-110
14 m.min⁻¹) must be included in players' training sessions, since results show that players need to
15 be able to cope with this high-intensity demand in a match. Also, the present study
16 highlighted substantial alteration of the acid-base balance in the blood during an international
17 rugby sevens tournament. Consequently, sarcolemmal proteins involved in pH regulation⁽³⁶⁾
18 and muscle buffer capacity⁽³⁷⁾ have to be improved in rugby sevens players in order to prevent
19 proton accumulation and to delay fatigue appearance during a match. Additionally, given the
20 high running load above MAS, and as some studies demonstrated that repeated sprint ability
21 is partly limited by O₂ supply to the muscle to resynthesize phosphocreatine⁽³⁸⁾, muscle
22 oxidative capacity should be developed. While different training strategies can be used in
23 order to improve each of these potential limiting factors, high intensity interval training and
24 sprint training should provide sufficient stimulus to increase the expression and the function
25 of these sarcolemmal transporters⁽³⁹⁻⁴¹⁾ as well as muscle buffer capacity⁽³⁷⁾. Fitness coaches
26 or sport scientists should take into account these specificities when analyzing and/or
27 designing training for rugby sevens players.

28

29

30 **Limitations**

31 This study is not without limitations. Firstly, a larger sample size (e.g., 4-6 tournaments, 2-4
32 teams) is needed to confirm our results. Secondly, this analysis of a single team's
33 performance might not be transposable for all the teams due to high inter-player variability
34 linked to different playing styles and training regimens. Finally, though our sample size

1 concerned elite level players, the data provided in this study concerned European
2 championships. However, players running activity is higher in the World Sevens Series^(1,4)
3 and as a consequence, metabolic perturbations could be even higher. Studies assessing [La]
4 production and acid-base perturbations following elite rugby sevens matches during the World
5 Sevens Series are thus warranted.
6

For Peer Review

5. PRACTICAL APPLICATIONS

- Based on the substantial alteration of the acid-base balance in rugby sevens, improving buffering capacity (with training or specific supplementation) may help players to maintain activity levels during a match.
- High-intensity running sequences ($18-25 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} > 100\% \text{ MAS}$) with sufficient aerobic stimulus ($90-110 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), should be included during training, since the results show that rugby sevens players have to run at these intensities during a match.

6. CONCLUSION

This study reported that international rugby sevens players must cope with running based demands above $90 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ and tolerate more than $17 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ above their maximal aerobic speed. Also, the present study was the first to determine acid-base perturbations following a rugby sevens match during international competition and highlight the relationships between metabolites and movement patterns during the 1-min peak activity within last 3-min of play. Despite a small sample size (1 team - 1 tournament), moderate relationships were found between post-match blood [La] and match activity during the last 3-min of play suggesting that the ability to produce high amounts of energy via glycolysis might be related to the running-performance in elite rugby sevens. Finally, the absolute highest and lowest values observed in this study ([La] up to $19.3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; pH close to 7.05) raise questions about the impact of acidosis on fatigue in rugby sevens. Even though some studies have demonstrated that physical performance can be reduced temporally both during and towards the end of rugby sevens matches^(1,4), further studies with a larger sample size, exploring the relationships between match-related performance decrement and acid-base perturbation are needed to determine the processes leading to fatigue during elite rugby sevens tournaments.

1 **Acknowledgments**

2 Thanks for the cooperation of all the players, and to French coaches Frederic Pomarel and
3 David Courteix and video analyst Germain Igarza for their attention and cooperation. Thanks
4 to Christopher Carling for his kind help reviewing the text and to the French Rugby
5 Federation and French National Institute of Sports for their financial support.

For Peer Review

References

- 1
- 2
- 3 1. Higham DG, Pyne DB, Anson JM, Eddy A. Movement patterns in rugby sevens: effects
4 of tournament level, fatigue and substitute players. *J Sci Med Sport*. 2012;15(3):277–82.
- 5 2. Suarez-Arrones L, Arenas C, López G, Requena B, Terrill O, Mendez-Villanueva A.
6 Positional Differences in Match Running Performance and Physical Collisions in Men
7 Rugby Sevens. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;22;
- 8 3. Furlan N, Waldron M, Shorter K, Gabbett TJ, Mitchell J, Fitzgerald E, et al. Running
9 Intensity Fluctuations in Elite Rugby Sevens Performance. *Int J Sports Physiol Perform*.
10 2015;22;
- 11 4. Ross A, Gill N, Cronin J. Match analysis and player characteristics in rugby sevens.
12 *Sports Med*. 2014;44(3):357–67.
- 13 5. Granatelli G, Gabbett TJ, Briotti G, Padulo J, Buglione A, D'Ottavio S, et al. Match
14 analysis and temporal patterns of fatigue in rugby sevens. *J Strength Cond Res*.
15 2014;28(3):728–34.
- 16 6. Higham DG, Pyne DB, Anson JM, Eddy A. Physiological, anthropometric, and
17 performance characteristics of rugby sevens players. *Int J Sports Physiol Perform*.
18 2013;8(1):19–27.
- 19 7. Cunniffe B, Proctor W, Baker JS, Davies B. An evaluation of the physiological demands
20 of elite rugby union using Global Positioning System tracking software. *J Strength Cond*
21 *Res*. 2009;23(4):1195–203.
- 22 8. Roberts SP, Trewartha G, Higgitt RJ, El-Abd J, Stokes KA. The physical demands of
23 elite English rugby union. *J Sports Sci*. 2008;26(8):825–33.
- 24 9. Docherty D, Wenger H. Time-motion analysis related to the physiological demands of
25 rugby. *Journal of Human Movement Studies*. 1988;
- 26 10. Deutsch MU, Kearney GA, Rehrer NJ. Time - motion analysis of professional rugby
27 union players during match-play. *J Sports Sci*. 2007;15;25(4):461–72.
- 28 11. Duthie G, Pyne D, Hooper S. Applied physiology and game analysis of rugby union.
29 *Sports Med*. 2003;33(13):973–91.
- 30 12. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. Metabolic response and fatigue in soccer. *Int J Sports*
31 *Physiol Perform*. 2007;2(2):111–27.
- 32 13. Bishop D, Edge J, Mendez-Villanueva A, Thomas C, Schneiker K. High-intensity
33 exercise decreases muscle buffer capacity via a decrease in protein buffering in human
34 skeletal muscle. *Pflugers Arch*. 2009;458(5):929–36.
- 35 14. Hanon C, Lepretre P-M, Bishop D, Thomas C. Oxygen uptake and blood metabolic
36 responses to a 400-m run. *Eur J Appl Physiol*. 2010;109(2):233–40.

- 1 15. Suarez-Arrones L, Núñez J, Sáez de Villareal E, Gálvez J, Suarez-Sanchez G, Munguía-
2 Izquierdo D. Repeated-High Intensity Running Activity and Internal Training Load of
3 Elite Rugby Sevens Players During International Matches: A Comparison Between
4 Halves. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10;
- 5 16. Abt G, Lovell R. The use of individualized speed and intensity thresholds for
6 determining the distance run at high-intensity in professional soccer. *J Sports Sci.*
7 2009;27(9):893–8.
- 8 17. Reardon C, Tobin DP, Delahunt E. Application of Individualized Speed Thresholds to
9 Interpret Position Specific Running Demands in Elite Professional Rugby Union: A GPS
10 Study. *PLoS ONE.* 2015;10(7):e0133410.
- 11 18. Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université
12 de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci.* 1980;5(2):77–84.
- 13 19. Duthie GM, Pyne DB, Marsh DJ, Hooper SL. Sprint patterns in rugby union players
14 during competition. *J Strength Cond Res.* 2006;20(1):208–14.
- 15 20. Townshend AD, Worringham CJ, Stewart IB. Assessment of speed and position during
16 human locomotion using nondifferential GPS. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(1):124–
17 32.
- 18 21. Mendez-Villanueva A, Buchheit M, Simpson B, Bourdon PC. Match play intensity
19 distribution in youth soccer. *Int J Sports Med.* 2013;34(2):101–10.
- 20 22. Varley MC, Elias GP, Aughey RJ. Current match-analysis techniques' underestimation
21 of intense periods of high-velocity running. *Int J Sports Physiol Perform.*
22 2012;7(2):183–5.
- 23 23. Murray AM, Varley MC. Activity Profile of International Rugby Sevens: Effect of
24 Scoreline, Opponent and Substitutes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;5;
- 25 24. Batterham AM, Hopkins WG. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J*
26 *Sports Physiol Perform.* 2006;1(1):50–7.
- 27 25. Winter EM, Abt GA, Nevill AM. Metrics of meaningfulness as opposed to sleights of
28 significance. *J Sports Sci.* 2014;32(10):901–2.
- 29 26. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in
30 sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3–13.
- 31 27. Russell M, Kingsley MIC. Changes in Acid-base balance during simulated soccer match
32 play. *J Strength Cond Res.* 2012;26(9):2593–9.
- 33 28. Krstrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. Muscle and blood
34 metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports*
35 *Exerc.* 2006;38(6):1165–74.
- 36 29. Harper LD, Clifford T, Briggs MA, McNamee G, West DJ, Stevenson E, et al. The
37 effects of 120 minutes of simulated match-play on indices of acid-base balance in
38 professional academy soccer players. *J Strength Cond Res.* 2015;20;

- 1 30. Montgomery DL. Physiology of ice hockey. *Sports Med.* 1988;5(2):99–126.
- 2 31. Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 400-metre and 800-
3 metre track running. *J Sports Sci.* 2005;23(3):299–307.
- 4 32. Lacour JR, Bouvat E, Barthélémy JC. Post-competition blood lactate concentrations as
5 indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur J Appl*
6 *Physiol Occup Physiol.* 1990;61(3-4):172–6.
- 7 33. Bishop D, Edge J. The effects of a 10-day taper on repeated-sprint performance in
8 females. *J Sci Med Sport.* 2005;8(2):200–9.
- 9 34. Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and
10 the influence of aerobic fitness. *Sports Med.* 2005;35(9):757–77.
- 11 35. Knicker AJ, Renshaw I, Oldham ARH, Cairns SP. Interactive processes link the multiple
12 symptoms of fatigue in sport competition. *Sports Med.* 2011;1;41(4):307–28.
- 13 36. Juel C. Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. *Acta*
14 *Physiol (Oxf).* 2008;193(1):17–24.
- 15 37. Edge J, Eynon N, McKenna MJ, Goodman CA, Harris RC, Bishop DJ. Altering the rest
16 interval during high-intensity interval training does not affect muscle or performance
17 adaptations. *Exp Physiol.* 2013;98(2):481–90.
- 18 38. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability - part I: factors
19 contributing to fatigue. *Sports Med.* 2011;1;41(8):673–94.
- 20 39. Kristensen JM, Kristensen M, Juel C. Expression of Na⁺/HCO₃⁻ co-transporter proteins
21 (NBCs) in rat and human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand.* 2004;182(1):69–76.
- 22 40. Bishop D, Edge J, Thomas C, Mercier J. Effects of high-intensity training on muscle
23 lactate transporters and postexercise recovery of muscle lactate and hydrogen ions in
24 women. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2008;295(6):R1991–8.
- 25 41. Messonnier L, Kristensen M, Juel C, Denis C. Importance of pH regulation and
26 lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in
27 humans. *J Appl Physiol.* 2007;102(5):1936–44.

28

Table 1. Running-related performance for whole-match and interchanged players in international rugby sevens matches.

	Whole match (n=23)	Interchanged (n=36)	Diff % (90% CI)	ES (90% CI)	% chances	Clinical chances
Playing time (min)	16.3 ± 1.0* [15.3-18.2]	7.9 ± 3.5 [1.4-15.3]	106.3, ± 15.6	3.0, ± 0.4	100/0/0	most likely very large
Total distance (m)	1429.1 ± 170.6* [1122.0-1800.1]	728.0 ± 339.9 [4.1-9.9]	96.3, ± 17.3	2.4, ± 0.4	100/0/0	most likely very large
Relative distance (m.min⁻¹)	87.2 ± 11.1 [70.5-113.7]	93.5 ± 14.0 [65.2-122.4]	-6.7, ± 6.1	-0.5, ± 0.4	0/13/87	likely small
Low Intensity (m.min⁻¹)	72.7 ± 7.8 [63.2-97.6]	73.4 ± 11.0 [49.1-97.8]	-1.0, ± 5.9	-0.1, ± 0.4	14/56/30	unclear
High Intensity (m.min⁻¹)	14.5 ± 4.8* [6.8-23.7]	18.8 ± 8.1 [0.0-41.5]	-22.9, ± 14.7	-0.7, ± 0.4	0/5/95	likely moderate
Very High Intensity (m.min⁻¹)	5.0 ± 2.8 [0.3-11.0]	6.6 ± 4.7 [0.0-19.7]	-24.2, ± 27.1	-0.4, ± 0.4	1/20/79	likely small

*: Whole-match players significantly different compared with interchanged players ($p < 0.001$); All data are presented as mean ± SD [min-max]. ES: Effect size; % chances: % chances that the true difference is +ive/trivial/-ive; Low-intensity: below 100% of MAS; high-intensity: above 100% of MAS; very high-intensity: above 100% of MAS + 30% of ASR.

Table 2. Metabolic responses to a rugby sevens match in whole-match and interchanged players.

	Whole match (n=23)						Interchanged (n=36)					
	Pre	Post	Diff% (90% CI)	ES (90% CI)	% chances	Clinical chances	Pre	Post	Diff% (90% CI)	ES (90% CI)	% chances	Clinical chances
pH	7.41 ± 0.03 [7.36-7.52]	7.29 ± 0.07* [7.10-7.37]	-1.6 ± 0.4	-2.2 ± 0.5	0/0/100	most likely very large	7.40 ± 0.03 [7.35-7.53]	7.25 ± 0.08* [7.06-7.37]	-2.0 ± 0.3	-2.5 ± 0.4	0/0/100	most likely very large
[HCO₃] (mmol.L⁻¹)	24.8 ± 1.2 [22.7-27.0]	14.0 ± 2.5* [9.5-19.8]	-43.5 ± 3.8	-5.4 ± 0.5	0/0/100	most likely very large	24.3 ± 1.6 [21.4-27.9]	13.6 ± 3.9* [8.2-23.7]	-44.0 ± 4.8	-3.6 ± 0.4	0/0/100	most likely very large
[La] (mmol.L⁻¹)	2.4 ± 1.0 [1.2-5.5]	11.5 ± 2.9* [6.8-18.9]	379.2 ± 43.8	4.1 ± 0.5	100/0/0	most likely very large	2.5 ± 1.0 [1.0-6.0]	11.9 ± 4.1* [3.5-19.3]	376.0 ± 46.3	3.1 ± 0.4	100/0/0	most likely very large

[HCO₃] = blood bicarbonate concentration; *[La]* = blood lactate concentration; * : Significant difference between pre- and post-match ($p < 0.01$); All data are presented as mean ± SD [min-max]. ES: Effect size; % chances: % chances that the true difference is +ive/trivial/-ive.

Table 3. Relationships between running demands and metabolic responses during international rugby sevens matches (n=55).

	Total Match				1-min peak activity in the final 3-min of play		
	Total distance (m)	Relative distance (m.min ⁻¹)	High intensity distance (m.min ⁻¹)	Very high intensity distance (m.min ⁻¹)	Relative distance (m.min ⁻¹)	High intensity distance (m.min ⁻¹)	Very high intensity distance (m.min ⁻¹)
[La] _{post}	0.18, ±0.26	0.22, ±0.25	0.36, ±0.23**	0.27, ±0.25*	0.39, ±0.23**	0.35, ±0.23**	0.39, ±0.23*
pH _{post}	0.05, ±0.26	-0.19, ±0.26	-0.44, ±0.22***	-0.26, ±0.25*	-0.31, ±0.24*	-0.37, ±0.23**	-0.39, ±0.23**
[HCO ₃] _{post}	-0.17, ±0.26	-0.23, ±0.25	-0.42, ±0.22**	-0.28, ±0.25*	-0.30, ±0.24*	-0.32, ±0.24*	-0.34, ±0.24**

[HCO₃]_{post} = blood bicarbonate concentration; [La]_{post} = blood lactate concentration; Data are reported as Pearson product moment correlation coefficients, r, ±95% confidence intervals ; * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001; high-intensity: above 100% of MAS; very high-intensity: above 100% of MAS + 30% of ASR.

PLOS ONE

Impact of Contextual Variables on Running and Skill-Related Performance in International Rugby Sevens

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	PONE-D-16-39112
Article Type:	Research Article
Full Title:	Impact of Contextual Variables on Running and Skill-Related Performance in International Rugby Sevens
Short Title:	Impact of contextual variables in International Rugby Sevens
Corresponding Author:	Mathieu Lacome, Ph.D French rugby union Marcoussis, FRANCE
Keywords:	Team sport; GPS; contextual variables; running performance; skill-related performance
Abstract:	<p>This study investigated the interactions between both match running- and skill-related performance and contextual variables in international rugby Sevens tournament. Fifteen elite players competed in 56 matches of HSBC World Sevens Series. Global Positioning Systems (Sensoreverywhere, Digital Simulation, France) and match analysis software (Dartfish, Switzerland) were employed to quantify running- and skill-related performance. The impact of the contextual variables (match result and opponent level) on match performance was assessed with a generalized linear model and a cluster analysis was performed to make homogeneous subgroups where the variables in the same cluster are similar. The results reported that players covered more low-speed and high-speed distance and performed more ball carries when winning compared to when losing (ES range: 0.36, ± 0.20 to 0.66, ± 0.20). When competing against a team ranked in the Top 5, players covered substantially less relative distance and performed relatively less passes and contacts than against teams ranked in the bottom of the World Sevens series (ES range: 0.35, ± 0.25 to 0.42, ± 0.25). The data reported in this study demonstrate that match result and opponent level influence the activity profile of elite rugby Sevens players. These data could provide a framework for performance analyst and coaches to analyze match-related performance of elite rugby Sevens players, taking into account the influence of match result and opponent ranking. In addition, these results highlight that coaches should implement training interventions to increase the ability of their players to covered high relative distance and distance at high-speed.</p>
Order of Authors:	Anthony Couderc Julien Piscione Julien Robineau Germain Igarza Claire Thomas Christine Hanon Mathieu Lacome, Ph.D
Opposed Reviewers:	
Additional Information:	
Question	Response
Financial Disclosure	The author(s) received no specific funding for this work.
Please describe all sources of funding that have supported your work. This	

Impact of Contextual Variables on Running and Skill-Related Performance in International Rugby Sevens

Anthony Couderc^{1,2}, Julien Piscione², Julien Robineau¹, Germain Igarza², Claire Thomas³, Christine Hanon⁴, Mathieu Lacomme²

¹French National Institute of Sports (INSEP) Sport Expertise and Performance Laboratory EA7370, 11 Tremblay Avenue, 75012 Paris, France

²French Rugby Federation (FFR), Research Department 3-5 rue Jean de Montaigu, 91463 Marcoussis, France

³University of Evry Val d'Essonne, STAPS department, François Mitterrand Boulevard, 91025 Evry, France

⁴French National Institute of Sports (INSEP), 11 Tremblay Avenue, 75012 Paris, France.

Corresponding Author:

Mathieu Lacomme

FFR - Research Department, 3-5 rue Jean de Montaigu, 91463 Marcoussis, France

Email: mathieu.lacomme@ffr.fr, Phone number: 33 169 636 484/33 616 272 285

Running Head:

Impact of contextual variables in Rugby Sevens

Abstract word count: 245

Text only word count: 3450

Abstract

This study investigated the interactions between both match running- and skill-related performance and contextual variables in international rugby Sevens tournament. Fifteen elite players competed in 56 matches of HSBC World Sevens Series. Global Positioning Systems (Sensoreverywhere, Digital Simulation, France) and match analysis software (Dartfish, Switzerland) were employed to quantify running- and skill- related performance. The impact of the contextual variables (match result and opponent level) on match performance was assessed with a generalized linear model and a cluster analysis was performed to make homogeneous subgroups where the variables in the same cluster are similar. The results reported that players covered more low-speed and high-speed distance and performed more ball carries when winning compared to when losing (ES range: 0.36, ± 0.20 to 0.66, ± 0.20). When competing against a team ranked in the Top 5, players covered substantially less relative distance and performed relatively less passes and contacts than against teams ranked in the bottom of the World Sevens series (ES range: 0.35, ± 0.25 to 0.42, ± 0.25). The data reported in this study demonstrate that match result and opponent level influence the activity profile of elite rugby Sevens players. These data could provide a framework for performance analyst and coaches to analyze match-related performance of elite rugby Sevens players, taking into account the influence of match result and opponent ranking. In addition, these results highlight that coaches should implement training interventions to increase the ability of their players to covered high relative distance and distance at high-speed.

Keywords: Team sport, GPS, contextual variables, running- performance, skill-related performance

1 **1. Introduction**

2

3 Rugby Sevens has been formerly introduced into the 2016 Olympic Games program. As such,
4 the physical and technical demands of rugby Sevens have been widely studied in elite male
5 players over the past few years. Time motion analysis studies generally report that rugby
6 Sevens players covered between 86 and 120 m.min⁻¹ with 13 to 27 m.min⁻¹ covered at high-
7 speed¹⁻⁴. The wide range of running-performance reported in the different studies suggests
8 that elite rugby Sevens match-related performance fluctuates due to contextual influences. As
9 such, an effective assessment of players' match-related performance requires knowledge of
10 the contextual variables that could potentially affect performance.

11

12 Previous researches in other team sports had demonstrated that contextual variables such as
13 the match result (win *vs.* lost) as well as the ranking of the opposition team (top *vs.* bottom
14 ranked team) have a direct impact on the running- and skill- performance of the players (5-7).
15 In rugby Sevens, only two studies analyzed the impact of various contextual variables on
16 running-related match performance^{8,9}. The first one observed that international tournament
17 matches are played at a higher intensity and elicit a greater physical load than domestic
18 matches, suggesting an impact of the standard of the opposition team on players'
19 performance⁸. Indeed, running- performance in the opening stages of a half seems to be
20 influenced by the level of the opposition⁹. The greater distances observed against higher
21 ranked opponents might be due to the ability of the higher ranked opposition to dictate play
22 by maintaining possession of the ball thus forcing the reference team to increase their physical
23 activity. While the impact of match results and opposition ranking on running performance in
24 rugby Sevens has been observed, to our knowledge, no study analyzed the impact of
25 contextual variables on skill-performance during international rugby Sevens tournament. The
26 knowledge of how different contextual variables potentially influence both player's running-
27 and skill-related performance in rugby Sevens may help coaches make their tactical decisions
28 during training and competitions or guide the match performance analysis processes.
29 Importantly, no studies have yet reported which or any of these variables had more influence
30 on players' match-related performance.

31

32

33

1 Thus, the aim of the present study was to analyze, the influence of match result and opponent
2 level on both running- and skill-performance in elite rugby Sevens players. The second aim of
3 this study was to define whether match result or opponent level had greater weight in
4 influencing match performance.

6 **2. Methods**

8 **Participants, match sample and contextual variables**

9 *Participants:* Fifteen male elite players belonging to the French national rugby Sevens team
10 (age: 25.8 ± 3.6 years; height: 182 ± 10 cm; body mass: 88.9 ± 13.5 kg; maximal aerobic
11 speed: 4.72 ± 0.25 m.s⁻¹) participated in this study. Prior to participation, all the players
12 received comprehensive verbal and written explanations of the study and gave their written
13 informed consent to participate in conformity with the recommendations of the Declaration of
14 Helsinki. The results of annual physiological testing were used in agreement with the French
15 Rugby union.

16
17 The study was conducted over two seasons of the HSBC World Sevens Series (2012-2013
18 and 2013-2014). The reference team ranked 9 and 10th at the end of the World Sevens Series
19 in 2012-2013 and 2013-2014 respectively. All players undertook a running test to estimate
20 their maximal aerobic speed. To account for the potentially confounding effect of variation in
21 physical performance, this test was repeated on four separate occasions: one month before the
22 starting seasons 2012-2013 and 2013-2014 (pre-season) and during the seasons 2012-2013
23 and 2013-2014 (middle-season). The testing results nearest the time of the tournament
24 analysed were employed for the subsequent analysis of the match play intensity.

25
26 *Contextual variables:* Two independent variables were included in this research.

27 (1) Match result: whether the reference team won or lost.

28 (2) Opponent level: whether the reference team played against successful teams (ranked in
29 the Top 5 at the end of the competition [Top]), moderately successful teams (ranked
30 between 6th and 10th [Medium]) and the least successful teams (ranked in the bottom
31 11th to 19th [Bottom]).

1 **Physical performance assessments**

2 Determination of Maximal Aerobic Speed

3 Maximal aerobic speed was determined using an intermittent progressive running test
4 (adapted from the test described by Leger and Boucher¹⁰) consisting of bouts of 3-min
5 running set interspersed with 1-min of passive rest on a tartan outdoor track. Speed was
6 increased by 2 km.h⁻¹ from 8 to 12 km.h⁻¹ and then by 1 km.h⁻¹ until voluntary exhaustion.
7 The speed at the last completed stage was considered the maximal aerobic speed.

9 **Data collection procedures and measures of competitive performance**

10 During each match, players wore a GPS unit capturing data at 8 Hz (SensorEverywhere,
11 Digital Simulation, France) in a customised pocket placed in their shirt and located between
12 the scapulas. Fifteen minutes before the start of each match, GPS were activated to be
13 exposed to clear satellite reception. Accelerations were calculated from a single derivation of
14 the speed during a period of 0.5 second. A Butterworth low-pass second-order (cut-off
15 frequency: 1 Hz) double phase-lag filter was used after the derivation. The GPS unit also
16 included tri-axial accelerometers and gyroscopes sampling at 100 Hz, to provide greater
17 accuracy on speed and acceleration.

18 To limit inter-unit variability, each player wore the same unit for the total duration of the
19 competition. Preliminary work¹¹ was conducted to assess the quality and reliability of the GPS
20 data. A trivial bias between speed measured with the GPS and the timing gates (0.11, ±0.04
21 m.s⁻¹) and a trivial typical error of measurement (TEM, 0.04, ±0.01 m.s⁻¹, 90% confidence
22 intervals) were reported. There was a low between-units typical error of measurement over
23 the various constant speed tested (0.5, ±0.15 to 0.6, ±0.35% from walk to sprint respectively).

25 The GPS data were captured and analysed using SensorEverywhere software (Digital
26 Simulation, France). A total of 56 matches were analysed providing 491 individual match
27 observations. To analyse the impact of the match result and the opponent level, only players
28 participating in more than one match half were considered.

30 The measures of performance selected for the analyses were classified into two categories:

31
32
33
34
35

1 1. Running-performance:

- 2 • Distance covered: Total distance (TD) and relative distance per minute covered in two
3 running speed zones (under and above individual maximal aerobic speed, for low-speed
4 and high-speed running, respectively)
5 • Number of accelerations above $2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
6 • High intensity effort: number of acceleration above $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ and number of sprint
7 above $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

8
9 2. Measures of skill-related performance:

10 Dartfish software (Dartfish, TeamPro 6.0, Switzerland) was used by an experimented
11 performance analyst to conduct the notational analysis. Player actions in possession
12 of or near the ball were coded: *Tackle*: A tackle was defined as when a player held a
13 ball carrier and brought him to the ground; *Ruck*: Participation in ruck was defined
14 when a player enters in contact with a ruck with his shoulder. *Offensive contact*: A
15 contact was defined when the ball carrier enter in collision with one opposition
16 player. *Ball carry*: Each time the player carries the ball; *Passes*: when a player
17 throws the ball to another player; if a player hands the ball to another player without
18 throwing it, this was also considered as a pass.

19
20 Absolute values for running- and skill-related performance were converted to either relative
21 distance or number of unit per time ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ or $\text{n}\cdot\text{min}^{-1}$).

22
23 **Statistical analysis**

24 Statistical analyses were performed using R statistical software (R. 3.1.0, R Foundation for
25 Statistical Computing) using the *lme4* and *psychometric* package. Data are presented as mean
26 \pm standard deviation unless stated. The % differences between mean values with 90%
27 confidence intervals (CI) are reported.

28
29 Means and standard deviations for each contextual variable were derived from the *generalized*
30 *linear model*, with the distribution and link function contingent upon the nature of the
31 dependent variable. The overdispersed Poisson distribution was chosen for modeling the data
32 from the notational analysis and the normal distribution was chosen for distances from the
33 time-motion analysis. For the first analysis, the match result (win or lose) and the level of
34 opponent (Top, Medium, Bottom) was included as a fixed effect while players were included
35 as random effects.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

A magnitude-based inferential approach to statistics was also adopted based on recent recommendations^{12,13}. Effect sizes (ES) were quantified to indicate the practical meaningfulness of the differences in mean values. The ES was classified as *trivial* (<0.2), *small* (0.2-<0.6), *moderate* (0.6-<1.2), *large* (1.2-<2.0) and *very large* (2.0-4.0) based on the guidelines of Batterham & Hopkins¹³. If the 90% confidence interval ranges from substantially positive to substantially negative, the magnitude was deemed unclear. The chances that the changes in running or skill-performance were greater for a contextual variable (i.e., greater than the smallest worthwhile change, SWC (0.2 multiplied by the between-subject standard deviation, based on Cohen's d principle)), similar or smaller than the other contextual variable were calculated. Quantitative chances of greater or smaller changes in performance variable were assessed qualitatively as follows: 0-<1%, *almost certainly not*; 1-<5%, *very unlikely*; 5-<25%, *unlikely*; 25-75%, *possibly*; >75-97.5%, *likely*; >97.5-99%, *very likely*; >99%, *most likely*¹⁴.

To place contextual variables into groups that display similar running- and skill- activities, a cluster analysis was performed. The aim of cluster analysis is to make homogeneous subgroups where the objects in the same cluster are similar, and the clusters differs differ from each other. The cluster analysis used the running and skill-related performance variable previously defined. First, variables were normalized relative to the playing time to allow direct comparison. Then, the variables were standardized to a mean of zero and a standard deviation of one to overcome problems that arise in cluster analysis whereby variables with greater variability disproportionately influence the clustering. Ward's method of clustering was used with the hclust function contained in « stats » package in R (R software). The Ward's method is an agglomerative hierarchical clustering procedure, and began with each of the six contextual variables used (win vs. Top to lost vs. Bottom) set into a cluster of its own. The contextual variables which were most similar were then grouped until a single cluster was reached. A horizontal line can be drawn to any given height on the y axis so that the n number of intersections with the line provides a n-cluster solution.

1 **3. Results**

2

3 **Relationship between match result and running- and skill-related performance**

4 Table 1 presents a comparison of running- and skill-related performance of the players
5 according to match result.

6 There was a *moderate* higher relative distance covered ($7.8, \pm 2.8\%$; % chance of having
7 greater/trivial/lower performance: 100/0/0) when the team won compared to when it lost.

8 When the team won, players covered a *small* higher distance both at low-speed and high-
9 speed ($16.4, \pm 9.4\%$; 95/5/0 and $5.7, \pm 2.9\%$; 90/10/0 respectively) compared to when the
10 team lost. Only *trivial* differences were observed in the number of high intensity efforts
11 performed when winning or losing. There was a *moderate* increase in the number of ball
12 carries ($58.7, \pm 18.0\%$; 100/0/0) performed by the players when the team won compared to
13 when it lost.

14

15 # INSERT TABLE 1 #

16

17 **Influence of the opponent level on running- and skill-related performance**

18 Table 2 presented running- and skill-related performance of the players when the reference
19 team was competing against a Top, Medium or Bottom ranked opponent.

20 Overall, there was only a trivial effect on running-related performance of the players when
21 playing against a Top or a Medium ranked team. There was a *small* lower relative distance
22 covered ($-4.4, \pm 3.1\%$; 0/16/84) and distance covered at low-speed ($-5.5, \pm 3.5\%$; 0/10/90)
23 when the team played against a Top ranked compared to a Bottom team. There was a *small*
24 decrease in the number of passes ($-17.2, \pm 16.0\%$; 0/33/67) and *small* increase in the number
25 of contacts ($29.4, \pm 17.1\%$; 93/7/0) performed by the players when the team competed against
26 a Top ranked team compared to when the team competed against a Bottom team.

27

28 # INSERT TABLE 2 #

29

30 **Cluster analysis**

31 Fig.1 shows a cluster dendrogram representing the relative similarity of the various variables
32 based on their impact on the running- and skill-related performance of the players.

33 Variables were first grouped into two clusters, one with the Lost against Top and Lost against
34 Medium team and another composed of all other variables. The latter cluster is composed

1 with a cluster of two (Won against Bottom and Won against Medium) and two isolated
2 variables (Won against Top, Lost against Bottom).

3

4 # INSERT FIG 1 #

5

6 **4. Discussion**

7

8 This study analyzed for the first time the influence of match results and opponent level on
9 both individualized running and skill-related performance in an elite rugby Sevens team
10 during the World Sevens Series. On one hand, players were likely to increase their running-
11 performance when winning or when competing against a bottom ranked teams. On the other
12 hand, there was a *small* increase in the number of passes performed by the players when
13 playing against Bottom teams compared to Top teams along with a *small* decrease in the
14 number of ruck involvements and contacts. Overall, data reported in this study demonstrate
15 that match result and, to a lesser extent, the ranking of opponents influence players'
16 performance.

17

18 Overall running performance value observed in this study ($93.3 \pm 12.3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) were in line
19 with those reported in previous studies concerning elite rugby Sevens^{9,15,16}. However, relative
20 distance covered was lower than that observed in higher ranked teams such as Australia (120
21 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)⁸ or England ($106 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$)¹⁷. Comparison of high-speed running with these studies
22 was not possible due to the utilization, for the first time, of individualized speed thresholds
23 based on players' physiological assessment. However, differences observed between the
24 studies must be due to various contextual variables wherein match results and opponent level
25 should play a central role.

26

27 **Relationship between match status and performance**

28 Our results showed that rugby Sevens players covered *most likely* greater relative distance and
29 *likely more* relative distance at high-speed when winning than losing. In rugby league, players
30 from winning teams covered greater relative distance but no significant differences were
31 observed for relative distance covered at high-speed¹⁸. These results demonstrate that, in elite
32 rugby Sevens, players are required to increase their running-performance when winning
33 matches. Moreover, *small* increases in the number of passes, contact and ball carries
34 performed by the players when the team won compared to when it lost were observed while
35 only a *trivial* difference in the number of tackle or ruck involvements were observed. Thus,

1 players increase their offensive skill activity when winning possibly due to an increased time
2 when the team is in possession of the ball. While possession statistics were not available for
3 this study, these results are in accordance with observations in Australian elite rugby Sevens
4 demonstrating that better tournament rankings and thus higher winning ratios, were associated
5 with superior efficiency in attack and technical abilities emphasizing the maintenance of ball
6 possession¹⁹. Combined, these findings suggest that the competitive advantage of successful
7 rugby Sevens team is closely linked to the ability to maintain a higher playing intensity with a
8 higher ball possession than less successful counterparts.

10 **Influence of opponent level on performance**

11 In this study, only a *trivial* effect on running-related performance was observed when playing
12 against teams with a close difference in rank between them (Top vs Medium or Medium vs
13 Bottom). The lack of meaningful differences in running-related performance or that only
14 *small* differences in skill-related performance are reported might be a consequence of reduced
15 differences in team-performance since the official introduction of the Sevens to the Olympic
16 Games. Indeed, mean point difference at the end of the game in pool stages has decreased
17 from 24.1 during the 2005/2006 season to 17.5 during the 2011/2012 season confirming that
18 modern matches are more closely contested¹⁹. However, the comparison of players' running-
19 and skill-related performance when competing against a Top team compared to a Bottom
20 team indicates substantial differences. On one hand, there was a *small* increase in total
21 distance covered and distance covered at low-speed. As suggested by one study, the greater
22 distances ran when playing against Bottom teams may be due to the ability to dictate play
23 with the capacity to maintain possession of the ball¹⁹. On the other hand, when playing against
24 a Top team, our results reported that players increased their total number of accelerations
25 performed during the match. This result could be the consequence of an increased time spent
26 while not in possession of the ball with players accelerating to recover their positions in
27 defence or attacking the ball carrier.

29 There was a *small* increase in the number of passes performed by the players against Bottom
30 teams compared to Top teams along with a *small* decrease in the number of ruck
31 involvements and contacts. This result could be the consequence of a change in the game
32 strategy. Previous work has demonstrated that successful teams are more effective in
33 defence¹⁹. Thus, teams competing against Top teams should therefore aim to maintain ball
34 possession by limiting handling errors and adopt a more restrictive playing-style with more
35 contacts and less passes. These results are in accordance with those reported in Hughes and

1 Jones (2005) confirming that successful teams use a ‘cat and mouse’ playing-style while
2 unsuccessful ones use a ‘cut and thrust’ style. Coaches should therefore implement
3 appropriate interventions aiming at training the players to maintain ball possession and
4 perform passing-skills under the pressure of an aggressive defence.

5

6 Finally, the cluster analysis provides a graphical insight as to how much similarities existed
7 between the various contextual variables. As can be seen in Fig. 1, two clusters appear with
8 one composed of win results (*vs.* Medium and Bottom) and a second one with lost (*vs.* Top
9 and Medium). The first two clusters reported similar match results (win or lost) and were
10 further separated by opponent level, indicating that match result had more weight on players’
11 skill- and running- related performance. This cluster analysis presented for the first time that
12 match result has more influence on overall players’ performance than the ranking of the
13 opponent. Players increase their relative and high-speed distance covered when winning
14 compared to when losing matches and, to a lesser extent, further increase their relative
15 distance covered the lower the opponent ranking is. Therefore, team performance analysts
16 should benchmark individual player’s performance relative to the match result initially.

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

1 **5. Limitations**

2 Although the results of this study highlight the importance of accounting for the influence of
3 contextual variables on running- and skill-related performance in rugby Sevens, some
4 limitations provide areas for future research. Firstly, our study considered one single team's
5 performances over two seasons thereby limiting the validity of their conclusions. Secondly,
6 only two contextual variables were incorporated into our analysis although other variables
7 may influence performance; weather conditions or match location appear to be common
8 concerns within applied and research settings. Finally, a larger sample size is necessary to
9 broke down positional groups into backs and forwards as their activity differ and could be
10 impacted differently by the various contextual variables.

11

12 **6. Conclusion**

13 The present data reported in this study demonstrate that match result and opponent level
14 influence the activity profile of elite rugby Sevens players. Players were *likely* to increase
15 their running-performance when winning compare to when loosing. To a lesser extent,
16 player's where *likely* to increase their relative distance covered when competing against
17 bottom teams. Also, for the first time in rugby Sevens, our data showed that skill-related
18 performance was also influenced by the former and latter contextual variables, possibly due to
19 variations in team ball possession albeit not measured here. These data could provide a
20 framework for performance analyst and coaches to analyze match-related performance of elite
21 rugby Sevens players, taking into account the influence of match result and opponent ranking.
22 Moreover, rugby sevens coaches should implement appropriate training interventions to
23 increase the ability of the players to maintain ball possession and perform passing-skills under
24 pressure as well as their capacity to covered high relative distance and distance at high-speed.

1 **References**

2

- 3 1. Granatelli G, Gabbett TJ, Briotti G, Padulo J, Buglione A, D'Ottavio S, et al. Match
4 analysis and temporal patterns of fatigue in rugby sevens. *J Strength Cond Res.* 2014
5 Mar;28(3):728–34.
- 6 2. Higham DG, Pyne DB, Anson JM, Eddy A. Movement patterns in rugby sevens: effects
7 of tournament level, fatigue and substitute players. *J Sci Med Sport.* 2012
8 May;15(3):277–82.
- 9 3. Ross A, Gill N, Cronin J. The match demands of international rugby sevens. *J Sports*
10 *Sci.* 2015;33(10):1035–41.
- 11 4. Suarez-Arrones LJ, Nuñez FJ, Portillo J, Mendez-Villanueva A. Running demands and
12 heart rate responses in men Rugby Sevens. *J Strength Cond Res.* 2012
13 Nov;26(11):3155–9.
- 14 5. Castellano J, Blanco-Villaseñor A, Alvarez D. Contextual variables and time-motion
15 analysis in soccer. *Int J Sports Med.* 2011 Jun;32(6):415–21.
- 16 6. Lago C, Casais L, Dominguez E, Sampaio J. The effects of situational variables on
17 distance covered at various speeds in elite soccer. *European Journal of Sport Science.*
18 2010 Mar 1;10(2):103–9.
- 19 7. Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Coutts AJ, Wisløff U. Technical
20 performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and
21 competitive level. *J Sci Med Sport.* 2009 Jan;12(1):227–33.
- 22 8. Higham DG, Pyne DB, Anson JM, Eddy A. Movement patterns in rugby sevens: effects
23 of tournament level, fatigue and substitute players. *J Sci Med Sport.* 2012
24 May;15(3):277–82.
- 25 9. Murray AM, Varley MC. Activity Profile of International Rugby Sevens: Effect of
26 Scoreline, Opponent and Substitutes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 Sep 5;
- 27 10. Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université
28 de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci.* 1980 Jun;5(2):77–84.
- 29 11. Peeters A, Bertrand M, Piscione J, Lacombe M. Validity and Reliability of a new 16 Hz
30 Global Positioning System. *European Congress Sport Science.* 2016;
- 31 12. Winter EM, Abt GA, Nevill AM. Metrics of meaningfulness as opposed to sleights of
32 significance. *J Sports Sci.* 2014;32(10):901–2.
- 33 13. Batterham AM, Hopkins WG. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J*
34 *Sports Physiol Perform.* 2006 Mar;1(1):50–7.
- 35 14. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in
36 sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009 Jan;41(1):3–13.
- 37 15. Furlan N, Waldron M, Shorter K, Gabbett TJ, Mitchell J, Fitzgerald E, et al. Running
38 Intensity Fluctuations in Elite Rugby Sevens Performance. *Int J Sports Physiol Perform.*
39 2015 Jan 22;

- 1 16. Granatelli G, Gabbett TJ, Briotti G, Padulo J, Buglione A, D'Ottavio S, et al. Match
2 Analysis and Temporal Patterns of Fatigue in Rugby Sevens. *J Strength Cond Res.* 2013
3 May 29;
- 4 17. Ross A, Gill ND, Cronin JB. A Comparison of the Match Demands of International and
5 Provincial Rugby Sevens. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015 Sep;10(6):786–90.
- 6 18. Gabbett TJ. Influence of ball-in-play time on the activity profiles of rugby league match-
7 play. *J Strength Cond Res.* 2014 Dec 2;
- 8 19. Higham DG, Hopkins WG, Pyne DB, Anson JM. Relationships between rugby sevens
9 performance indicators and international tournament outcomes. *Journal of Quantitative*
10 *Analysis in Sports.* 2014;10(1):81–7.

11

12

- 1 **Table 1.** The running and skill-related performance according to the match status of
2 international rugby Sevens players
3
4
5 **Table 2.** The running and skill-related performance when the reference team was competing
6 against Top, Middle or Bottom ranked opposition
7
8
9 **Figure 1.** Cluster dendrogram representing the relative similarity of the various variables
10 based on their impact on the running- and skill-related performance of the players.

Table 1. The running and skill-related performance according to the match status of international rugby Sevens players

	Performance		Win vs. Lose			
	Win (n=133) (mean ± SD)	Lose (n=128) (mean ± SD)	CI %	Effect size	% of chance	
Running Performance	Relative Distance (m.min ⁻¹)	95.6 ± 11.0	88.7 ± 13.0	7.8, ± 2.8	0.57, ± 0.20 Small + Most Likely	100/0/0
	High velocity distance (m.min ⁻¹)	19.9 ± 7.0	17.1 ± 8.7	16.4, ± 9.4	0.36, ± 0.20 Small + Likely	90/10/0
	Low velocity distance (m.min ⁻¹)	76.2 ± 9.4	72.1 ± 11.2	5.7, ± 2.9	0.40, ± 0.20 Small + Likely	95/5/0
	High Intensity effort (n.min ⁻¹)	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.3	9.0, ± 10.4	0.18, ± 0.20 Small + Possibly	42/58/0
	Accelerations (n.min ⁻¹)	1.3 ± 0.4	1.2 ± 0.4	6.1, ± 6.7	0.19, ± 0.20 Small + Possibly	46/54/0
Skill-related Performance	Passes (n.min ⁻¹)	0.28 ± 0.18	0.24 ± 0.15	13.9, ± 14.1	0.20, ± 0.20 Small + Possibly	50/50/0
	Rucks (n.min ⁻¹)	0.17 ± 0.13	0.16 ± 0.13	6.5, ± 16.4	0.08, ± 0.20 Trivial + Unlikely	17/82/1
	Contacts (n.min ⁻¹)	0.16 ± 0.11	0.10 ± 0.11	60.5, ± 22.5	0.55, ± 0.20 Small + Most Likely	100/0/0
	Tackles (n.min ⁻¹)	0.25 ± 0.12	0.26 ± 0.13	-3.4, ± 9.8	-0.07, ± 0.20 Trivial - Unlikely	2/84/15
	Ball Carries (n.min ⁻¹)	0.23 ± 0.14	0.15 ± 0.11	58.7, ± 18.0	0.66, ± 0.20 Moderate + Most Likely	100/0/0

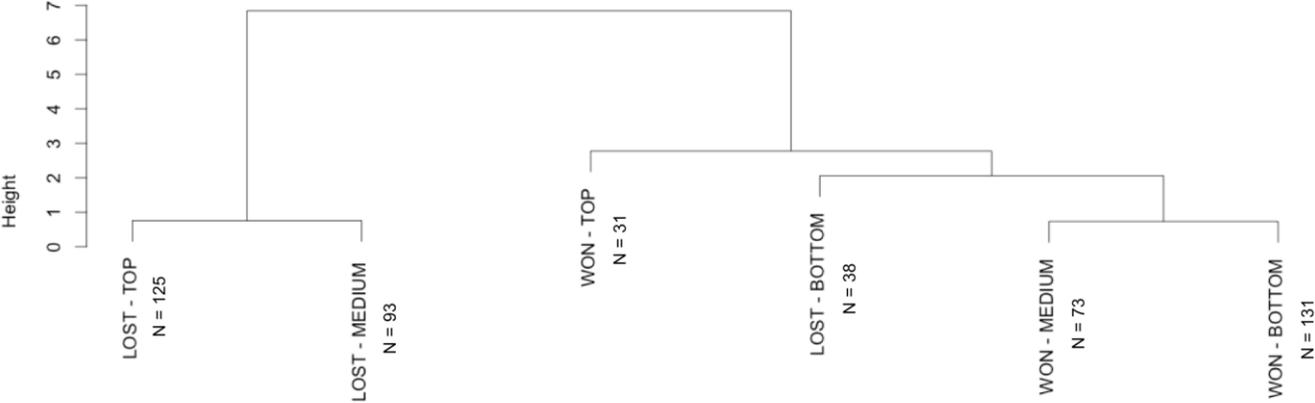
% chances: % chances that the true difference is +ive/ trivial/ -ive. Data are presented as mean ± SD or mean, ±90% confidence interval.

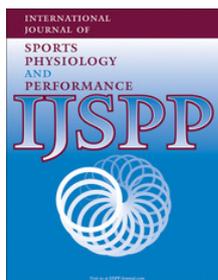
1 **Table 2.** The running and skill-related performance when the reference team was competing against Top, Middle or Bottom ranked opposition

	Performance			Top vs. Medium			Top vs. Bottom			Medium vs. Bottom			
	Top (n=86) (mean, ±SD)	Medium (n=86) (mean, ±SD)	Bottom (n=89) (mean, ±SD)	CI %	Effect size	% of chance	CI %	Effect size	% of chance	CI %	Effect size	% of chance	
Running Performance	Relative Distance (m.min ⁻¹)	91.3 ± 13.1	93.1 ± 12.9	95.6 ± 10.9	-1.9, ± 3.5	-0.14, ± 0.25 Trivial	1/65/34 - Possibly	-4.4, ± 3.1	-0.35, ± 0.25 Small	0/16/84 - Likely	-2.6, ± 3.1	-0.21, ± 0.25 Small	0/48/52 - Possibly
	High-velocity distance (m.min ⁻¹)	19.0 ± 7.0	20.3 ± 9.3	19.9 ± 7.4	-6.1, ± 10.1	-0.15, ± 0.25 Small	1/61/38 - Possibly	-4.3, ± 9.0	-0.12, ± 0.25 Trivial	2/68/30 - Possibly	1.9, ± 10.5	0.05, ± 0.25 Trivial	16/79/5 + Unlikely
	Low-velocity distance (m.min ⁻¹)	72.0 ± 12.1	73.2 ± 9.4	76.2 ± 9.3	-1.7, ± 3.7	-0.12, ± 0.25 Trivial	2/69/30 - Possibly	-5.5, ± 3.5	-0.39, ± 0.25 Small	0/10/90 - Likely	-3.9, ± 3.1	-0.31, ± 0.25 Small	0/22/77 - Likely
	High Intensity effort (n.min ⁻¹)	0.52 ± 0.24	0.49 ± 0.27	0.51 ± 0.22	5.3, ± 12.9	0.10, ± 0.25 Trivial	26/71/2 + Possibly	0.9, ± 11.1	0.02, ± 0.25 Trivial	12/81/7 + Unlikely	-4.2, ± 11.9	-0.09, ± 0.25 Trivial	3/74/23 - Unlikely
	Accelerations (n.min ⁻¹)	1.38 ± 0.39	1.29 ± 0.45	1.28 ± 0.34	7.0, ± 8.2	0.22, ± 0.25 Small	54/45/0 + Possibly	8.1, ± 7.1	0.28, ± 0.25 Small	71/29/0 + Possibly	1.0, ± 7.8	0.03, ± 0.25 Trivial	14/80/6 + Unlikely
Skill-related Performance	Passes (n.min ⁻¹)	0.23 ± 0.16	0.28 ± 0.15	0.28 ± 0.19	-17.4, ± 14.0	-0.31, ± 0.25 Small	0/23/77 - Likely	-17.2, ± 16.0	-0.27, ± 0.25 Small	0/33/67 - Possibly	0.3, ± 15.3	0.01, ± 0.25 Trivial	10/81/9 + Unlikely
	Rucks (n.min ⁻¹)	0.19 ± 0.13	0.18 ± 0.13	0.17 ± 0.12	8.1, ± 17.9	0.11, ± 0.25 Trivial	29/69/2 + Possibly	15.6, ± 18.7	0.21, ± 0.25 Small	52/48/0 + Possibly	6.9, ± 18.7	0.09, ± 0.25 Trivial	24/73/3 + Unlikely
	Contacts (n.min ⁻¹)	0.21 ± 0.10	0.21 ± 0.11	0.16 ± 0.11	-1.1, ± 13.1	0.02, ± 0.25 Trivial	8/80/12 + Unlikely	29.4, ± 17.1	0.42, ± 0.25 Small	93/7/0 + Likely	30.8, ± 17.8	0.43, ± 0.25 Small	93/7/0 + Likely
	Tackles (n.min ⁻¹)	0.22 ± 0.14	0.23 ± 0.12	0.25 ± 0.11	-3.3, ± 14.0	-0.06, ± 0.25 Trivial	5/78/18 - Unlikely	-10.7, ± 12.7	-0.21, ± 0.25 Small	0/47/53 - Possibly	-7.7, ± 11.4	-0.17, ± 0.25 Small	1/58/41 - Possibly
	Ball Carries (n.min ⁻¹)	0.22 ± 0.12	0.26 ± 0.14	0.23 ± 0.14	-17.8, ± 12.6	-0.35, ± 0.25 Small	0/16/84 - Likely	-6.9, ± 13.7	-0.12, ± 0.25 Trivial	2/67/31 - Possibly	13.3, ± 15.0	0.22, ± 0.25 Small	55/44/0 + Possibly

2 % chances: % chances that the true difference is +ive/ trivial/ -ive. Date are presented as mean ± SD or mean, ±90% confidence interval

Figure 1. Cluster dendrogram representing the relative similarity of the various variables based on their impact on the running- and skill-related performance of the players.





ACCEPTED on April 27, 2016

Original Investigation

Quantifying Neuromuscular Fatigue induced by an Intense Training Session in Rugby Sevens

Effects of Fatigue in rugby Sevens

Bruno MARRIER^{1,2}, Yann LE MEUR¹, Julien ROBINEAU², Mathieu LACOME², Anthony COUDERC², Christophe HAUSSWIRTH¹, Julien PISCIONE², Jean-Benoît MORIN^{3*}

¹ *Laboratory of Sport, Expertise and Performance (INSEP), EA 7370, National Institute of Sport, Expertise and Performance, Paris, France*

² *Research Department, French Rugby Federation (FFR), Marcoussis, France*

³ *Laboratory of Human Motricity, Education Sport and Health (EA 6312), University of Nice Sophia Antipolis, Nice, France*

***Corresponding author:**

Jean-Benoit Morin, PhD, Professor

Laboratory of Human Motricity, Education Sport and Health (EA 6312)

University of Nice Sophia Antipolis

Nice, France

E-mail: jean-benoit.morin@unice.fr

TEL: +33 6 27 26 19 07

This research was conducted at French Rugby Federation (FFR).

The authors do not have any conflict of interest.

Acknowledgement:

We would like to thank the rugby Sevens players and staff of French national team.

Number of words (from introduction to conclusion): 2957 words

Number of words (abstract): 220 words.

Number of tables and figures: 3 tables

Abstract

Purpose: To compare the sensitivity of a sprint versus a countermovement (CMJ) test after an intense training session in international rugby Sevens players, as well as to analyze the effects of fatigue on sprint acceleration. **Methods:** Thirteen international rugby sevens players completed two 30-meter sprints and a set of four repetitions of CMJ before (Pre) and after (Post) a highly demanding rugby Sevens training session. **Results:** Change in CMJ height was unclear (-3.6%; $\pm 90\%$ confidence limits 11.9%. Chances of a true positive/trivial/negative change: 24/10/66%), while a very likely small increase in 30-m sprint time was observed (1.0% $\pm 0.7\%$, 96/3/1%). A very likely small decrease in the maximum horizontal theoretical velocity V_0 (-2.4; $\pm 1.8\%$, 1/4/95%) was observed. A very large correlation ($r = -0.79 \pm 0.23$) between the variations of V_0 and the 30-m sprint performance was also observed. Changes in 30-m sprint time were negatively and very largely correlated with the distance covered above the maximal aerobic speed ($r = -0.71 \pm 0.32$). **Conclusions:** The CMJ test appears to be less sensitive than the sprint test, which casts doubts on the usefulness of a vertical jump test, in sports such as rugby, that mainly involve horizontal motions. The decline in sprint performance relates more to a decrease in velocity than in force capability, and is correlated with the distance covered at high-intensity.

Key words: performance, sprint, jump, team sports, tests

Introduction

Rugby sevens is a high-intensity sport that requires players to repeatedly sprint, change direction and contest tackles and rucks, interspersed with periods of low and moderate intensity running. Sprint running acceleration is a key physical determinant of match performance^{1,2}. Consequently, one of the important goals for coaches is to maximize this neuromuscular quality. For an accurate monitoring of fatigue and a better training program design, neuromuscular quantification remains a major concern³⁻⁵, in particular when approaching the Olympic Games.

Vertical jumps, and especially the countermovement jump (CMJ), have been used as a common practical test to quantify the level of neuromuscular fatigue in team sports such as rugby⁶⁻⁸ or soccer^{9,10}. This test is practical, well accepted by elite players, and is both valid and reliable; making it potentially useful to detect and quantify fatigue in field conditions^{7,11}. In team sports such as rugby sevens, sprint accelerations and decelerations are more frequent and important than vertical jumps. Within this context, the lack of specificity of the CMJ casts doubts on its ability to correctly evidence the effects of fatigue on players. Since the underlying mechanisms of fatigue vary according to the task and are specific to this task¹², we believe that this particular issue required further study.

To date, no such specific test has been implemented in field conditions, except those based on sprint performance variables, i.e. sprint time over a given distance¹³. However, sprint performance and maximal power output (P_{max}) over a given distance may result from different combinations of the underlying neuromuscular variables of force and velocity (represented by the players' individual theoretical maximal values F_0 and V_0 , respectively)^{14,15}. Thus, we investigated in detail these mechanical outputs as the sprint-specific muscular variables of interest. To do so, a recently validated field method¹⁶ allowed us to study the main sprint acceleration mechanical outputs (F_0 , V_0 and P_{max}), and their fatigue related changes in the context of real elite rugby sevens performance. This method has recently been used to

determine the mechanical horizontal profiles of young soccer players¹⁴, elite rugby players¹⁷ or to study changes in the mechanical muscular properties of sprint acceleration, following hamstring injury¹⁸. The purpose of this study was to compare the sensitivity of a sprint versus a CMJ test in order to identify the effects of fatigue during a field-based training session in international rugby sevens players. Furthermore the aim was also to analyze the effects of fatigue on sprint acceleration performance and mechanical outputs in this elite population. We therefore sought to evidence each player's fatigue with a test that was closer to their specific sprinting activity during the game³.

Methods

Subjects

Thirteen elite, male, rugby sevens players (age: 26.9 ± 4.4 years, height: 1.80 ± 0.09 m, body mass: 86.7 ± 11.7 kg) gave their informed consent to participate in this study in accordance with the *Code of Ethics of the World Medical Association* (Declaration of Helsinki). All players were training, on average, eleven times per week. Before participation, all players had already conducted several tests, including a maximal aerobic speed (MAS) test (TUB 2¹⁹) from which their maximum heart rate (HR max) was obtained, and an 80-m sprint test to assess their maximum running speed. The means and standard deviations for each variable were: maximum speed of 9.34 ± 0.32 m.s⁻¹, MAS of 4.58 ± 0.08 m.s⁻¹ and HR max of 192 ± 6 bpm.

Design

The study took place during a highly demanding rugby sevens training session. Two teams of 7 players played 2 half times of 6 short sequences on a natural outdoor grass field (size: 100 x 70 m) including 2 blocks of 90 - 120 and 150 s with 30 – 60 and 90 s of recovery between each sequence. The players were requested to maximally engage in each sequence. The half-time break was 5 minutes. The aim was to reproduce and emphasize the constraints imposed by this activity through a substantial number of very-high intensity efforts, while maintaining the specificity of the match intensity (relative distance). The volume training was increased through a higher distance covered in order to accentuate the use of energetic qualities.

Methodology

Before the training session, all players performed a standardized 25-min warm-up consisting of running at moderate speed, stretching, performing athletic drills and intense runs, based on their typical warm-up routine. Two tests were randomly performed prior to the Pre and Post tests: a set of 4 maximal CMJ and two 30-m sprint tests. All players completed the two tests just before and immediately after the training session. They kept their rugby boots during the entire session and tests. Prior to all testing, a familiarization session was organized.

CMJ test. Performance was measured using a portable linear encoder device (GymAware Power Tool, kinetic Performance Technologies, Canberra, Australia) during a maximal CMJ²⁰. Participants then completed a set of four repetitions of CMJ, with a recovery of three to five seconds between each jump. They were asked to jump keeping their back straight and respecting the reference marks on the ground, common to all. The mean value of the three best jumps was used in the analysis to improve reliability²¹. The variables showing the

highest sensitivity to fatigue were selected for analysis: average concentric power, peak concentric velocity and peak concentric strength ²¹. The jump height was retained as an additional dependent variable in order to compare our results with previous research.

Sprint test. The performance on two 30-m sprint, interspersed with 3-minute rest between each sprint, was measured using a wireless sports timing system (SmartSpeed, Fusion Sport, Australia) denoting a 0.01 second sprint time accuracy. Players started each sprint from a standing position with their feet 0.5 m behind the first timing gate. They were asked to cover a 30-m distance as fast as possible with no trunk motion prior to the sprint start. The distance was chosen after preliminary testing to allow all players to reach their maximal speed within the sprint. The best sprint was used in further analyses. The sprint acceleration mechanical outputs were obtained using the method of Samozino et al. ¹⁶, which is based on instantaneous speed measurements taken over time. The latter was continuously measured during the 30-m acceleration using a radar with a 48 Hz sampling frequency (Stalker Pro II Sports Radar Gun, Plano, TX). The radar was placed on a tripod, 5 meters behind the player and 1 meter above the ground, which corresponds approximately to the height of the players' center of mass. Air temperature, atmospheric pressure and wind speed (Pro Weather Station, Oregon Scientific) were used to estimate air density and friction force during the sprint.

Time motion analysis. The players' time-motion data were assessed in real-time using a 8-Hz global positioning system (GPS) units worn during the session (SensorEverywhere, Digital Simulation, France, mass: 87 g size: 102x52x19 mm). Preliminary work (unpublished data) was conducted to assess the quality of the GPS data in comparison with timing gate measurements. High levels of validity (intra-class correlation: 0.99, typical error of measurement: $2.7 \pm 0.3\%$) and reliability (typical error of measurement: 1.0 ± 0.4 to $3.8 \pm 1.8\%$) were found in walking to high-velocity running conditions. The GPS units were placed inside a specific pocket of the shirt placed between the shoulder blades. To ensure a clear satellite reception, the GPS was activated fifteen minutes before the start of the session. The number of satellite signals captured during data acquisition was satisfactory (7 ± 0.7). Speed data were calculated using the radial speed method ²². The GPS information was transmitted and processed with a SensorEverywhere server (Digital Simulation, France). The maximal aerobic speed, the maximum speed and the anaerobic velocity reserve (difference between the top sprinting speed and the maximum aerobic speed), were used to individualize each player's speed thresholds.

Heart rate. Heart rate monitors (Firstbeat Sports Team) were carried at the chest by the players during the entire session.

Perceived exertion. The Rate of Perceived Exertion (RPE) was assessed using the Foster method ²³. Prior to the experiment, the players were reminded of the correct use of this protocol and were asked to verbally report their perceived exertion immediately at the end of the session.

Statistical analysis

Data were analyzed using the magnitude-based inference approach ²⁴. To reduce any possible bias arising from non-uniformity of error, all data were log transformed before analysis. The magnitude of the within-group changes was interpreted by using values of 0.2, 0.6, 1.2, 2.0 and 4.0 of the within-athlete variation as thresholds for small, moderate, large, very large and extremely large differences in the change between Pre and Post ²⁴. The CV of each

performance variable was determined during pre-test experiments (3.2, 3.1, 2.3, 4.9% for MP, PF, PV, height, respectively and 2.2, 3.9, 3.2 and 1.1% for V_0 , F_0 , P_{max} and 30-m sprint time respectively). The smallest worthwhile changes (SWC) in the time-motion variables were based on Cohen's effect size ($0.2 \times$ between-athletes standard deviation, SD). Quantitative chances of higher or lower values than the smallest worthwhile change were evaluated qualitatively as follows: <1%, almost certainly not; 1%–5%, very unlikely; 5%–25%, unlikely; 25%–75%, possible; 75%–95%, likely; 95%–99%, very likely; and >99%, almost certain. In the case of having beneficial/better or detrimental/power changes were both >5% higher or lower values was 5%, the true difference was assessed as unclear²⁴. Pearson's product-moment correlation analysis and 90% confidence limits²⁴ was also used to test the association between individual changes in training parameters and changes in CMJ and sprint variables. The following criteria were adopted to interpret the magnitude of the correlation (r) between test measures: ≤ 0.1 trivial, < 0.1–0.3 small, < 0.3–0.5 moderate, < 0.5–0.7 large, < 0.7–0.9 very large, and < 0.9–1.0 almost perfect. If the 90% confidence intervals overlapped small positive and negative values the magnitude was deemed unclear; otherwise that magnitude was deemed to be observed magnitude²⁴.

Results

Mean values (\pm standard deviation) of data measured during the tests (pre - post) and during the training session are respectively shown in Table 1 and 2. The correlation coefficients between performance measures and all time-motion variables are shown in Table 3.

Pre-post session changes in CMJ height were *unclear* post-match (-3.6; ± 11.9 %, 24/10/66% chances to observe positive / trivial / negative changes). The differences in change in mean power (+4.4; ± 5.5 %, 88/6/6%), in peak velocity (+ 1.7; ± 3.1 %, 77/11/12%) and in peak force (+7.8; ± 8.7 %, 92/3/5%) were *unclear*.

30-m sprint time increased *very likely* (+1.0; ± 0.7 %, 96/3/1%, small). Changes in maximal power (-2.0; ± 16.3 %, 38/5/56%) and in F_0 (+ 1.7; ± 8.1 %, 60/10/30%) were *unclear*. In contrast, V_0 decreased *very likely* (-2.4; ± 1.8 %, 1/4/95%, small).

The total distance covered by the players and the distance covered above MAS decreased *very likely* between the first and the second half (-6.1; ± 4 %, 0/4/96% and -25; ± 17.1 %, 0/1/99 %, respectively). Similarly, the relative distance covered, the distance covered at speed above 75% of maximal speed and the maximal speed decreased *likely* at the same time (-4.1; ± 4.3 %, 1/19/80%; -56; ± 16 %, 4/8/88% and -4; ± 4.9 %, 3/16/82%, respectively). The changes in time spent at HR above 90% of maximal HR and in the total sprint distance covered were *unclear* (-11.3; ± 36.3 %, 6/57/37% and -47.9; ± 119.8 %, 5/9/87%, respectively). The mean RPE at the end of the training session was 8.71 ± 0.84 .

A negative correlation ($r = -0.79 \pm 0.23$, very large) was observed between the variations in V_0 and in 30-m sprint time. A large positive correlation was reported between the change in V_0 , between Pre and Post and between the change in the distance covered above MAS during the first half and the second half ($r = 0.59 \pm 0.38$, large). The changes in 30-m sprint time were negatively correlated with the change in the distance covered above MAS ($r = -0.71 \pm 0.32$, very large).

Discussion

The aim of this study was 1) to compare the sensitivity of a sprint versus a CMJ test in order to evidence the effects of a highly demanding rugby sevens training session in international level players and 2) to analyze the effects of fatigue on sprint acceleration performance and mechanical outputs applied specifically to this particular context. The main results indicated that the changes in CMJ performance were unclear while the 30-m sprint time increased in response to the training session. In addition, the changes in sprint performance showed a very large correlation with the changes in distance covered above MAS, and a very large correlation with the changes in V_0 .

These results suggest that in this context, the CMJ test is less sensitive than the sprint test. This finding could explain the lack of change in CMJ performance reported by recent studies in rugby sevens players. Clarke and al.²⁵ showed that a two-day Women's Rugby Sevens tournament elicited substantial muscle damage (CK), but no clear changes in CMJ performance. Nevertheless, the use of recovery strategies following each day of competition, including cold water immersion, compression garments, foam rolling and stretching, may also have limited the extent of neuromuscular fatigue during the CMJ and its detectable effects, making it difficult to determine the sensitivity of this test to detect fatigue immediately at the end of a high-intensity training or competition session. These points call into question the CMJ's sensitivity and cast doubts on the pertinence of a single, bipodal, vertical jump test such as the CMJ in a sport where horizontal movements (sprint accelerations and decelerations) are paramount.

The results obtained during the 30-m sprint test showed a *very likely* decrease in performance after the training session. A *very large* correlation ($r = -0.71$) was observed between the change in 30-m sprint performance and the changes in the distance covered at a speed above MAS. This relationship supports the idea that the decrease of 30-m sprint performance is related to the repetition of runs at speeds above MAS. It would therefore appear that the degradation of sprint performance was sensitive to the training intensity induced by this session ($120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ in mean), which is in line with previous observations that a high-intensity intermittent exercise contributed largely to neuromuscular fatigue^{26,27}. Bearing in mind that sprint running is a key physical determinant of match performance in rugby sevens^{1,2}, this information is very important. Suarez-Arrones et al.²⁸ showed that an international rugby sevens player runs an average distance of 18 meters per sprint with maximum distances of up to 70 meters, repeated between 7 and 8 times. This represents a 140-220 meters sprint cumulative distance in a typical game. Ross et al.² identified that faster sprint times were associated with greater attacking performance (e.g. line breaks, tries scored, defenders beaten) and repeated sprint ability with performance in defensive measures.

Regarding the mechanical outputs underlying sprint performance, the present results showed that the maximal velocity capability (V_0) was impaired after this typical session. A *very likely* decrease in V_0 ($-2.4 \pm 1.8\%$) was observed, while changes in F_0 remained unclear. We note here that the fatigue resulting from a typical rugby sevens training session did not clearly alter the maximal force component of sprinting power, but altered its maximal velocity component. These results are very similar to a recent study conducted with soccer players¹⁵ and suggest that in the context of complex team sport movements, in contrast with the definition of fatigue given by some authors^{29,30}, fatigue is not simply evidenced by a decline in the maximal force component. Moreover, a very large correlation ($r = -0.79$) was observed between changes in V_0 and changes in 30-m sprint performance. This additionally supports to the fact that V_0 is a strong determinant of sprint acceleration performance over sprints longer than 20 m in elite

rugby sevens players. Furthermore, the decrease in V_0 was *largely* correlated ($r = 0.59$) with the change in the distance covered above MAS during the first half and the second half. Repetition of runs at speeds above MAS seemed to be related to a change in the expression of maximum speed qualities after intensive and prolonged anaerobic stresses. This relationship of decrement of V_0 with high-speed running also strengthens the results reported by Nagahara et al.¹⁵ with soccer players. All of these observations show the need to quantify the macroscopic muscular mechanical outputs of sprint acceleration to have more detailed information on the underlying factors determining sprint acceleration performance, towards a better design of training and recovery programs.

Practical Applications

The results of this study imply that measures of sprint performance are more valuable than vertical jumps to evidence the effects of fatigue in international rugby sevens players. The detection and quantification of acute neuromuscular fatigue in players, who are highly trained in sprinting, require the implementation of specific tests. However, we must keep in mind that a sprint test requires the implementation of a more consistent warm-up in order to limit injury risks. Given that this can be difficult in some professional contexts, we need further experiments on how to arrange this sprint test within the day-to-day working practices.

Conclusions

The present study showed that the CMJ test appears to be less sensitive than the sprint test after a high-intensity training session in international rugby Sevens players. These results cast doubts on the usefulness of a vertical jump test, in sports such as rugby, which mainly involve horizontal motions. Moreover, the changes in the mechanical muscular properties of sprint acceleration induced by this high-intensity training session allows us to evidence fatigue was here a decline in the maximal velocity component, correlated with the changes in the distance covered at a speed above MAS.

References

1. Suarez-Arrones L, Nunez FJ, Portillo J, Mendez-Villanueva A. Match running performance and exercise intensity in elite female Rugby Sevens. *J Strength Cond Res.* 2012;26:1858-62.
2. Ross A, Gill N, Cronin J, Malcata R. The relationship between physical characteristics and match performance in rugby sevens. *Eur J Sport Sci.* 2015;15:565-71.
3. Higham DG, Pyne DB, Anson JM, Eddy A. Movement patterns in rugby sevens: effects of tournament level, fatigue and substitute players. *J Sci Med Sport.* 2012;15:277-82.
4. Ross A, Gill N, Cronin J. Match analysis and player characteristics in rugby sevens. *Sports Med.* 2014;44:357-67.
5. Granatelli G, Gabbett TJ, Briotti G, Padulo J, Buglione A, D'Ottavio S, Ruscello BM. Match analysis and temporal patterns of fatigue in rugby sevens. *J Strength Cond Res.* 2014;28:728-34.
6. McLean BD, Coutts AJ, Kelly V, McGuigan MR, Cormack SJ. Neuromuscular, endocrine, and perceptual fatigue responses during different length between-match microcycles in professional rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5:367-83.

7. Twist C, Waldron M, Highton J, Burt D, Daniels M. Neuromuscular, biochemical and perceptual post-match fatigue in professional rugby league forwards and backs. *J Sports Sci.* 2012;30:359-67.
8. Johnston RD, Gabbett TJ, Jenkins DG, Hulin BT. Influence of physical qualities on post-match fatigue in rugby league players. *J Sci Med Sport.* 2015;18:209-13.
9. Andersson H, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40:372-80.
10. Russell M, Sparkes W, Northeast J, Cook CJ, Bracken RM, Kilduff LP. Relationships between match activities and peak power output and Creatine Kinase responses to professional reserve team soccer match-play. *Hum Mov Sci.* 2015;45:96-101.
11. Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Doyle TL. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008;3:131-44.
12. Cairns SP, Knicker AJ, Thompson MW, Sjogaard G. Evaluation of models used to study neuromuscular fatigue. *Exerc Sport Sci Rev.* 2005;33:9-16.
13. Gathercole RJ, Sporer BC, Stellingwerff T, Sleivert GG. Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *J Strength Cond Res.* 2015;29:2522-31.
14. Buchheit M, Samozino P, Glynn JA, Michael BS, Al Haddad H, Mendez-Villanueva A, Morin JB. Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *J Sports Sci.* 2014;32:1906-13.
15. Nagahara R, Morin J-B, Koido M. Impairment of sprint mechanical properties in an actual soccer match: A pilot study. *International journal of sports physiology and performance.* 2016;In press.
16. Samozino P, Rabita G, Dorel S, Slawinski J, Peyrot N, Saez de Villarreal E, Morin JB. A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scand J Med Sci Sports.* 2015.
17. Cross MR, Brughelli M, Brown SR, Samozino P, Gill ND, Cronin JB, Morin JB. Mechanical Properties of Sprinting in Elite Rugby Union and Rugby League. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10:695-702.
18. Mendiguchia J, Samozino P, Martinez-Ruiz E, Brughelli M, Schmikli S, Morin JB, Mendez-Villanueva A. Progression of mechanical properties during on-field sprint running after returning to sports from a hamstring muscle injury in soccer players. *Int J Sports Med.* 2014;35:690-5.
19. Cazorla. Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. . *Actes du colloque international de la Guadeloupe.* 1990:151-73.
20. Crewther BT, Kilduff LP, Cunningham DJ, Cook C, Owen N, Yang GZ. Validating two systems for estimating force and power. *Int J Sports Med.* 2011;32:254-8.
21. Taylor KL, Cronin J, Gill ND, Chapman DW, Sheppard J. Sources of variability in iso-inertial jump assessments. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5:546-58.
22. Townshend AD, Worringham CJ, Stewart IB. Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40:124-32.
23. Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:1164-8.
24. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:3-13.

25. Clarke AC, Anson JM, Pyne DB. Neuromuscular Fatigue and Muscle Damage After a Women's Rugby Sevens Tournament. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015;10:808-14.
26. Margaria R, Oliva RD, Di Prampero PE, Cerretelli P. Energy utilization in intermittent exercise of supramaximal intensity. *J Appl Physiol*. 1969;26:752-6.
27. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol (1985)*. 1993;75:712-9.
28. Suarez-Arrones LJ, Nunez FJ, Portillo J, Mendez-Villanueva A. Running demands and heart rate responses in men Rugby Sevens. *J Strength Cond Res*. 2012;26:3155-9.
29. Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol (1985)*. 1992;72:1631-48.
30. Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle Nerve*. 1984;7:691-9.

Table 1: Variables measured during the training session (Mean \pm SD).

	First Half	Second Half	ES, \pm90% CL	Qualitative Difference
Distance covered (m)	1563 \pm 141	1469 \pm 145**	-0.62 \pm 0.39	Very likely moderate decrease
Relative Distance (m.min ⁻¹)	122 \pm 11.5	118 \pm 11.6*	-0,40 \pm 0.40	Likely small decrease
D > MAS (m)	297 \pm 105	220 \pm 70.4**	-0.83 \pm 0.38	Very likely moderate decrease
D > 75% MSS (m)	47.6 \pm 30.8	31.2 \pm 25.8*	-0.93 \pm 1.06	Likely moderate decrease
D sprint (m)	56.5 \pm 27.6	33.1 \pm 25.8	-0.87 \pm 1.05	Unclear
HR duration > 90% HRmax (s)	207 \pm 119	190 \pm 120	-0.13 \pm 0.33	Unclear
Maximal speed (m.s ⁻¹)	6.66 \pm 0.53	6.39 \pm 0.43*	-0.53 \pm 0.60	Likely small decrease

*Differences between first half and second half: *likely, ** very Likely, ***almost certain.*

ES = Effect size, CL = Confidence limits, D = Distance; MAS = Maximal Aerobic Speed; MSS = Maximal Speed Sprint, HR = Heart Rate.

Table 2: Tests results (Mean \pm SD)

		PRE	POST	ES, $\pm 90\%$ CL	Qualitative Difference
CMJ Performance	Height (cm)	50 \pm 6	49 \pm 9	-0.21 \pm 0.65	Unclear
Vertical Mechanical Properties	Mean power (W)	3889 \pm 797	4023 \pm 592	0.16 \pm 0.19	Unclear
	Mean power (W.kg⁻¹)	45.4 \pm 13.3	47.1 \pm 0.05	0.14 \pm 0.18	Unclear
	Peak force (N)	2787 \pm 482	2982 \pm 352	0.46 \pm 0.51	Unclear
	Peak force (N.kg⁻¹)	32.5 \pm 8.64	34.6 \pm 7.60	0.29 \pm 0.32	Unclear
	Peak velocity (m.s⁻¹)	3.55 \pm 0.35	3.61 \pm 0.36	0.15 \pm 0.27	Unclear
Sprint Performance	30-m (s)	4.02 \pm 0.10	4.06 \pm 0.12 **	0.34 \pm 0.24	Very likely small increase
Horizontal Mechanical Properties	P_{max} (W)	1648 \pm 210	1637 \pm 8.64	-0.05 \pm 0.48	Unclear
	P_{max} (W.kg⁻¹)	19.3 \pm 3.80	18.7 \pm 2.27	-0.11 \pm 0.81	Unclear
	F₀ (N)	741 \pm 111	755 \pm 121	0.10 \pm 0.47	Unclear
	F₀ (N.kg⁻¹)	8.43 \pm 0.54	8.62 \pm 1.07	0.15 \pm 0.71	Unclear
	V₀ (m.s⁻¹)	8.96 \pm 0.38	8.75 \pm 0.44 **	-0.46 \pm 0.35	Very likely small decrease

Differences in tests results between Pre and Post: *likely, ** very Likely, ***almost certain.

ES = Effect size, CL = Confidence limits,

P_{max} = Maximal power output produced in the horizontal direction, F₀ = Maximal force capability, V₀ = Maximal velocity capability.

Table 3. Correlation coefficients between performance measures and all time-motion variables.

	Δ CMJ Height	Δ Sprint time	Δ D covered	Δ Relative D	Δ Max Speed	Δ D > MAS	Δ D Sprint	Δ D >75% MSS	Δ HR duration > 90%HRmax
Δ CMJ Height		0.23 (-0.30; 0.65)	0.13 (-0.37; 0.57)	0.19 (-0.32; 0.61)	-0.15 (-0.59; 0.35)	-0.43 (-0.78; 0.12)	-0.58 (-0.90; 0.16)	-0.46 (-0.87; 0.32)	-0.10 (-0.57; 0.42)
Δ PF	0.55 (0.09; 0.81) **		0.00 (-0.47; 0.48)	0.00 (-0.48; 0.48)	-0.52 (-0.80; -0.06) **	-0.48 (-0.80; 0.06)	-0.38 (-0.84; 0.40)	-0.58 (-0.90; 0.17)	-0.19 (-0.63; 0.34)
Δ PV	0.07 (-0.42; 0.53)		-0.18 (-0.61; 0.32)	-0.16 (-0.59; 0.35)	0.02 (-0.46; 0.49)	0.26 (-0.30; 0.69)	-0.25 (-0.79; 0.51)	-0.25 (-0.79; 0.51)	0.35 (-0.18; 0.72)
Δ MP	0.55 (0.09; 0.81) **		-0.05 (-0.52; 0.44)	0.01 (-0.47; 0.49)	-0.06 (-0.52; 0.43)	0.07 (-0.47; 0.57)	-0.26 (-0.80; 0.50)	-0.32 (-0.82; 0.46)	0.19 (-0.34; 0.63)
Δ Sprint time			0.20 (-0.34; 0.63)	0.31 (-0.22; 0.70)	-0.20 (-0.64; 0.33)	-0.71 (-0.91; 0.26) ***	-0.11 (-0.79; 0.69)	-0.23 (-0.83; 0.61)	-0.38 (-0.75; 0.18)
Δ F ₀		0.31 (-0.22; 0.70)	0.08 (-0.41; 0.54)	0.15 (-0.35; 0.59)	-0.01 (-0.49; 0.47)	0.10 (-0.45; 0.59)	0.11 (-0.61; 0.73)	-0.21 (-0.78; 0.54)	-0.50 (-0.80; 0.00)*
Δ V ₀		-0.79 (-0.92; -0.47) ***	-0.01 (-0.49; 0.47)	-0.12 (-0.56; 0.38)	0.27 (-0.24; 0.66)	0.59 (0.10; 0.85) **	-0.01 (-0.68; 0.67)	0.26 (-0.51; 0.80)	0.30 (-0.23; 0.70)
Δ P max		-0.17 (-0.62; 0.36)	0.07 (-0.42; 0.53)	0.12 (-0.38; 0.57)	0.36 (-0.14; 0.72)	0.46 (-0.08; 0.79)	0.40 (-0.38; 0.85)	0.19 (-0.56; 0.77)	-0.22 (-0.65; 0.32)

Data shown are Pearson correlations with lower and upper 90% confidence limits into brackets.

*: moderate correlation; **: large correlation; ***: very large correlation

PF = Peak Force; PV = Peak Velocity; MP = Mean Power; F₀ = Theoretical maximal force; V₀ = Theoretical maximal velocity; P max = Maximal power output; D = Distance; MAS = Maximal Aerobic Speed; MSS = Maximal Speed Sprint; HR = Heart Rate.

PHYSICAL PREPARATION RECOMMENDATIONS FOR ELITE RUGBY SEVENS PERFORMANCE

Authors: Jake Schuster^{1,8}, Dan Howells, Dr. Julien Robineau, Anthony Couderc, Dr. Alex Natera⁴, Nick Lumley⁵, Dr. Tim Gabbett⁶, Dr. Nick Winkelman⁷, Dr. Travis McMaster⁸

Affiliations:

¹ New Zealand Rugby Union (NZRU), 100 Moleworth Street, 6011 Wellington, New Zealand

Rugby Football Union (RFU), 200 Whitton Road, TW2 7BA Twickenham, United Kingdom

French Rugby Union Federation (FFR), 3-5 rue Jean de Montaigu, 91463 Marcoussis, France

⁴ Aspire Academy, Al Henaizbiah Street, Doha, Qatar

⁵ Scottish Rugby Union (SRU), BT Murrayfield, EH125PJ Edinburgh, Scotland

⁶ Gabbett Performance Solutions, Brisbane, Australia

⁷ Irish Rugby Football Union (IRFU), 10-12 Landsdowne Road, 4 Dublin, Ireland

⁸ University of Waikato Adams Center for High Performance, 52 Miro Street, 3116 Mount Maunganui, New Zealand

Corresponding Author:

Jake Schuster, PhD Candidate New Zealand Rugby Union & University of Waikato

(+64 21 028 19 442) JakeSchuster@nzrugby.co.nz

Introduction

Rugby Sevens is, as of the XXXI Games in Rio de Janeiro, the Olympic code in the sport of Rugby. As a new Olympic sport it is expected that from 2015, global participation will surge to just under three million registered athletes. With skill levels rising across all levels to create remarkable parity of competition, physical preparation comes into focus in a sport with highly unique match and competition demands. The aims of this paper are to provide a detailed outline of best-practice methods utilized by practitioners at the highest level of physical preparation in Rugby Sevens.

Match Demands

Although played under essentially the same laws as fifteen-a-side Rugby Union, Rugby Sevens play contains fourteen minute matches (twenty for Cup Finals) with seven players per side. The sport is normally played in a tournament format consisting of five to six games over the course of two to three days rather than one eighty minute match on a weekly basis. As of 2016, The International Rugby Board World Rugby Sevens Series, consisting of ten tournaments for the men and six tournaments for the women played over the course of eight months, often paired across consecutive weeks, is widely considered the highest standard of Rugby Sevens competition in the world. Further standalone pinnacle events such as the Rugby Sevens World Cup, Commonwealth Games, and Olympic Games operate in four-year cycles and take place outside of the World Series season, requiring additional preparation across the annual calendar.

As reported by an observational study of the 2013 Men's World Rugby Sevens Series, Rugby Sevens athletes cover nearly 1500 m per match, of which over 250 m are at high speed ($> 5\text{m/s}$), with a mean peak velocity of over 8m/s . The average player takes 3.51 ± 2.51 ball carries, 2.41 ± 2.29 tackles, and 2.26 ± 3.91 total rucks per match in pool play, with no meaningful differences between pool match-play and Cup matches (Ross, Gill, & Cronin, 2014).

Over 90% of ball-in-play sequences during Rugby Sevens matches last less than 60 seconds, with an average sequence of 27.8 seconds in pool play and 33.4 seconds in cup play, while 65% of recovery sequences are under 45 seconds, with an average sequence of 38 seconds in pool play and 45.2 seconds in cup play (Ross, Gill, & Cronin, 2014).

Across a wide range of variables, only trivial to small differences have been found between backs and forwards, with forwards engaging in more contact situations and backs performing more high-speed movements, ball handles and passes. Players are commonly required to play a variety of positions during a single match, with the common exceptions of a scrum-half and a hooker. This data indicates that Rugby Sevens athletes should be all trained for the same match demands, with adjustments for Individual Player Plans (IPP).

During the unique instance of a cup final match in international Rugby Sevens competitions in which two ten minute halves are played, 35% increases in distance covered and 55% increases in numbers of tackles made have been observed (Ross et al., 2014, page 42).

Given the importance of between-tournament recovery in an World Rugby Sevens Series campaign, it is of note that Rugby Sevens team starters (those who play all matches from the start) cover approximately 51% greater total distance and approximately 40% more total contacts over the course of a tournament than backs in one 80 minute 15-a-side Rugby Union match. This data indicates significantly unique weekly recovery scenarios in Rugby Sevens including typically two to three hours between matches in a given day. Therefore, total-tournament loads may be equally or perhaps more useful than single-match reports when monitoring and adjusting training loads.

With such a large activity-demand variability between matches and lack of clear positional differences, it is suggested that physical preparation of Rugby Sevens athletes should focus on the skillsets required and durations and intensities presented by the sport.

Programming

With up to to 12 international tournaments in a calendar year and the “aerated” format of competition featuring tournaments often grouped in pairs, periods in which large training loads are possible exist not only in the preseason as with most team sports, but also throughout the season in between tournament blocks. A separation between three to six week periods of preparation and high training loads, buildups to tournament blocks, and the turnarounds between tournaments are delineated in the sections below.

The structure of any typical training week should allow for effective application of speed/agility, strength and power, injury prevention, aerobic conditioning, and tactical/technical components within the program. The main priority of a physical preparation program is to ensure the players spend as much time available to practice their sport, equipped with the physical capacities to play their sport in the style desired by the head coach, as possible. Although Rugby Sevens players are exceptional athletes in many areas of physical prowess, it is presumed that few could perform at an elite level in any of individual physical qualities. This dynamic suggests emphasis on a well-rounded program which compliments the area of desired expertise: Rugby Sevens. The physical preparation program should provide the athlete with maximum opportunity to apply and express their abilities on the rugby pitch. Given squad size, travel and varying individual player plans, as well as specific requests of the rugby coach, creativity and an agile, solutions-based approach are necessary for collective success.

Anecdotally, athletes with habitually high running outputs may struggle to perform on three consecutive days, therefore training load management can follow a pattern of two days with

higher loads followed by a day with a lower load, while anecdotally three-day competitions must be managed very deliberately to ensure adequate recovery for final matches. As Rugby Sevens is a running sport, proficiency in running skills are essential both for individual match-action successes and for economical energy expenditure, subsequent maximum performance late in matches and in latter matches of competitions (Furusawa, Hill, & Parkinson, 1927; Higham, Pyne, Anson, & Eddy, 2012a; J. B. Morin, Samozino, Edouard, & Tomazin, 2011; J.-B. Morin, 2013; Nummela, Kernen, & Mikkelsen, 2007).

Therefore the aims and priorities of a physical preparation coach in Rugby Sevens are to produce and maintain athletes who are:

- 1) Healthy and robust with as few injuries as possible
- 2) Capable of performing basic physical demands of the sport
- 3) Able to complete the physical tasks required for the coaches desired style of play

Planning an effective weekly program:

Program efficacy is largely dependent on synergy between the physical preparation coach and the head coach, working together to complement one another's desired programming. A physical preparation program will only be effective if there is cohesion with the rugby program. In a sport with deliberate "training camps" leading up to competitions, days with multiple rugby sessions must be monitored carefully to avoid contraindicative spikes in training load.

Management of players and coaches expectations with respect to the training process can be conducive to positive training culture. While stress is required in order to instigate adaptations to subsequently enhance performance, careful periodization and deliberate communication with rugby coaches around decision making with regards to when and whether fatigue or else readiness to perform are desired is essential for coherent team preparation. Furthermore, communication of such decisions and logic with the players themselves may enhance adherence. Rating of Perceived Exertion (the simple modified 1-10 RPE scale) can be used as a clear and simple way of planning session intensities and reflect retrospectively on the training process (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, & Marcora, 2004).

A successfully implemented physical preparation program features clear and deliberate delineations between training-phase aims and balance between stress and adaptation and readiness to play. Furthermore, individual player plans are addressed while building capacities to be able to perform in the sport at the coaches demands in a robust manner with as few injuries as feasibly manageable.

Strength and Conditioning

Given that stronger athletes have a lower risk of injury (Baker, 2016; Gabbett & Wheeler, 2014; Suchomel, Nimphius, & Stone, 2016), a primary avenue of injury prevention and preparation for the physical demands of Rugby Sevens is well-developed strength qualities. Lower body strength may also protect against the fatigue-induced reductions in tackling skill which occur in repeated efforts (Gabbett, In Press). In a preseason or midseason preparation phase, blocks of strength-oriented work may be programmed as detailed below using intensity descriptors.

Given other training demands both on and off the rugby pitch, it is essential to avoid excessive neuromuscular fatigue in the strength and power programming. Careful structure of training allows for periods of high neuromuscular demands from strength and power training which complement the rugby programme. Weeks featuring a deliberate deload can ensure an element of recovery in schedule, made even more effective if applied in combination with reduced running load, leading to opportunity for higher outputs both on-field and in the gym the following week. These recommendations and dynamics are primarily relevant in well-trained groups and developmental athletes may not require deloads as much or as often. One week deload periods every four weeks of programming can allow for flexibility (e.g. a player incurring a contusion in week two, which therefore becomes a deload week rather than week three, with the same total and aggregate training load and strength gains achieved within the four week block).

Exercise selection and segmentation is at full discretion of the physical preparation coach and will not be covered in detail in this paper. It is advised that an effective stimulus, rather than exercise or body parts, be the focus of programming aims for any given training week. Given the growing body of literature on the minimum effective dose required for strength adaptations, spontaneous modifications to the physical preparation program can occur frequently. An example of this would be programming slow single leg squats in a case of an athlete who cannot complete full-range bilateral squats on a given day.

In a preparation phase, four strength-oriented sessions are highly feasible, so programming three sessions with four windows of opportunity to execute the sessions can ensure necessary work is achieved at a high rate of compliance. With the below-detailed biases an athlete who only completes two weightlifting sessions per week still reaches considerable volume for both upper and lower body segments unlike tiered systems common in American Football programs.

The desired stimulus must be a consideration behind all exercise selections, whether motor learning and skill acquisition, strength or power development, or strength-endurance. Where the motor learning of triple-extension is intended, in many cases an Olympic lift may not be ideal in favour of a jump squat. As with any physical preparation program, Olympic lifting derivatives can be greatly beneficial provided that the teaching and learning cost does not outweigh the stimulus benefit, so return on investment must be considered. While the protective element of strength training is also highly conducive to power development, strength should be a focus of

preparatory phases where running and rugby loads are relatively low as compared to competition phases when strength development opportunities diminish and power development and transfer of training to rugby skills become highest priorities.

Rugby Sevens requires exceptional levels of fitness, including well-developed aerobic capacity which can provide the basis from which a player can express all of their other physical qualities. As speed, power, strength and anaerobic qualities all diminish in output as a result of repeated efforts without adequate recovery time, a well-developed aerobic base may minimise these required recovery times and can contribute to repeatability of such capacities. Given the lasting nature of aerobic qualities, aerobic development should form a large basis of off season preparation phase work. A logical progression throughout a season is to progress from extensive aerobic work to intensive anaerobic work, whilst consistently matching and exceeding maximal loading scenarios which players may encounter during gameplay.

Beyond this early-stage basic aerobic work, a majority of training for conditioning of Rugby Sevens athletes should orient around the duration demands of the sport as detailed above. Repeated sprint-efforts and small-sided-games are two effective examples of running-based conditioning which can be tailored to mimic play sequences found in Rugby Sevens. Further off-foot conditioning options such as rowing, cycling and swimming exist as alternative options to condition athletes without a foot-strike exacerbation load.

There is a growing notion that athletes with greater levels of strength tolerate intense physical activity with lower decreases in strength and power. A recent examination of Gaelic footballers demonstrated that athletes with a relatively high aerobic capacity display lower injury risk at multiple volumes of training and during spikes in training load (Malone, Roe, Doran, Gabbett, & Collins, 2016). With the travel and competition demands of elite Rugby Sevens, maintaining muscle mass can be difficult. Muscle loss has been observed in as little as 5 days disuse (Twall, Dirks, Snijders, Senden, Dolmans and Van Loon, 2013), so strategies to mitigate this should be implemented to avoid otherwise unnecessary hypertrophy blocks during preparatory phases. In addition to this, inhibitory systems would be expected to be elevated during periods of inactivity brought on by travel and competition and so this should also be a consideration for the physical preparation coach. Unpublished data from the authors suggest that athletes self-report increased muscle soreness on day two of competition if a tournament is preceded by 7 days or more without any exposure to heavily loaded resistance training.

Speed and Power

Maximal effort running

While field sports spend a dominant proportion of match-time running at submaximal speeds, the authors postulate that actions which determine outcomes of matches nearly always include sprints of maximum effort. Therefore, training maximal effort and velocity sprinting skills are highly conducive to success in Rugby Sevens. While a faster player will hypothetically cover ground more economically at proportionately lower running speeds and therefore conserve energy, the ultimate aspiration is an athlete who possesses both outstanding absolute sprinting and repeated sprint abilities.

To develop sprinting ability, outright maximal-effort sprints must firstly occur at a high velocity with sufficient horizontal power expression to withstand tackle efforts by opponents in the course of a carry or else to successfully tackle an attacking opponent arriving at the point of contact with great momentum. Therefore it is essential to program the training of maximal effort sprints in isolation as separate stimuli from fatigue-based capacities. Horizontal force application is a determining factor behind superior sprints at both accelerative and maximal velocity distances, and such qualities can be monitored simply and trained specifically (Buchheit et al., 2014; J. B. Morin et al., 2012, 2015; J.-B. Morin & Samozino, 2015). Chronic accrued volume of sprinting within a training program can improve tolerance to running loads which can benefit the athletes overall physical preparation (Malone et al., 2016). Furthermore the separation of the various sprinting skills in the form of linear, multidirectional unplanned and planned agility as well as accelerative and maximum velocity actions can be beneficial for optimization of both learning pedagogies and physiological adaptations. With such dynamics of decision making, reactions and ball carrying, successful integration of sprinting skills with rugby training can enhance scope and volume opportunities for the physical preparation coach as well as ensure maximum possible transfer of training effects.

SECTION HERE FROM WINKELMAN AND SCHUSTER

Repeat power ability

In addition to high and moderate speed running demands, rugby sevens involves repeated high intensity actions including accelerations, decelerations, changes of direction and importantly the contact elements of game play. These actions can occur at multiple times within a 30 second period and can occur up to 45 times in a game; of substantial importance is that these actions come at a high physiological cost (Johnston, Gabbett, Jenkins, & Hulin, 2008; Suarez-Arrones et al., 2014, 2015). A significant decrease in the number of these repeated high intensity actions

have been shown to occur in the second half of games (Suarez-Arrones et al., 2015), reflective of the accumulation of fatigue and the inability to sustain high intensity activation throughout a match (Higham, Pyne, Anson, & Eddy, 2012b). Enhancing repeated power ability (RPA) in seven's players may provide a performance advantage with regards to repeated high intensity efforts (RHIE). This suggestion comes in light of poor indications within the literature of the relationships between both aerobic capacity and repeated sprint ability with RHIE (Gabbett & Wheeler, 2014). A need for emphasized specificity exists when training capacities for repeatability of high intensity, explosive actions.

To avoid excessive running loads in the physical preparation for rugby seven's, high volume power training (HVPT) may be used to build capacity for repeated bouts of high intensity work. HVPT consists of volumes of work much greater than those used in the traditional training of maximal power (≤ 5 sets of 1-6 repetitions (Baker & Newton, 2007; Cormie, McGuigan, & Newton, 2011; Thomasson & Comfort, 2012). Exercises in such protocols are typically ballistic in nature, such as squat jumps and Olympic lifting derivatives with moderate loads of between 30-50% 1RM, with total session repetition ranges from as low as 50 up to 600 repetitions, with repetitions per working set ranging from 10 to 16 (Hatfield, Kraemer, Volek, & Rubin, 2006; Hester, Conchola, Thiele, & DeFreitas, 2014; Volek et al., 1997). The use of cluster sets, where brief inter-set recovery is provided, can also be prescribed to assist in the maintenance of maximal power (Gonzalo-Skok et al., 2015; Mosey, 2011). These methods have been shown to improve measures of RPA and other sporting tasks involving repeated explosive performance such as repeated jump performance, repeated change of direction and repeated sprint ability (Bosco, Cotelli, & Bonomi, 1994; Apanukul, Suwannathda, & Intiraporn, 2015; Gonzalo-Skok et al., 2015) and may even directly enhance maximal power output; therefore offering a training modality whereby maximal power and RPA can be enhanced simultaneously. There is some evidence that upper-body strength and agility are significant correlative factors for RHIE performance (Gabbett & Wheeler, 2015). Elite team sport athletes may need higher volumes of work than sub-elites, having been observed achieving re-attainment of maximal power between sets, less fatigue within sets and no further accumulation of fatigue between sets (Figure 4. unpublished data).

Based on the current body of literature and the applied cases, one of three below-detailed potential HVPT progressions can be used to develop RPA and physically prepare seven's players for the repeated high intensity efforts experienced in a game (Table 1.). From the below table, it is suggested that progressions B and C are more during pre-season or else when longer preparatory phases between tournaments occur, while Progression A is considered appropriate for use within 3-5 days of competition in order to maintain RPA with lower levels of fatigue.

Athlete Load Monitoring and Injury Prevention

Given the unique duration and frequency of international Rugby Sevens competitions, management of player fatigue is crucial both for maintaining team performance and limiting injuries at four time scales: the season, the stage, the tournament, the competition day.

All practitioners involved in Rugby Sevens (e.g. coaches, physiotherapists, and strength and conditioning staff) are interested in identifying the optimum amount of training to elicit specific performance levels. This training “dose-response” relationship is analogous to pharmacological studies where chemists wish to understand the positive and negative effects of a particular drug. Sport scientists understand that physically hard training is required in order to prepare athletes for the demands of competition, but are also aware that excessive loading can result in increased injury risk.

Early research reported a positive relationship between training load and injury, suggesting that the harder athletes train the more injuries they are likely to sustain (Gabbett, 2004a; Gabbett and Domrow, 2007). Furthermore, greater amounts of high-speed running have been associated with greater lower-body, soft-tissue injury risk (Gabbett and Ullah, 2012), while reductions in training load resulted in fewer injuries and greater improvements in aerobic fitness (Gabbett, 2004b). However, in more recent times, a significant body of evidence has emerged to demonstrate that high chronic training loads may protect athletes against injury (Hulin et al., 2014; 2016ab; Gabbett, 2016; Soligard et al., 2016; Murray et al., 2016; Windt et al., 2016). Collectively, these results suggest that training load might best be described as the “vehicle” that drives athletes towards *or away from* injury (Windt and Gabbett, 2016).

Several studies have demonstrated the protective effect of high training loads (Hulin et al., 2014; Hulin, Gabbett, Caputi, Lawson, & Sampson, 2016; Malone et al., 2016; Murray et al., n.d.); athletes from a wide range of sports experience a lower risk of injury when their chronic training loads are high. Importantly, the best predictor of injury was the size of the current week’s training load (termed *acute training load*) in relation to the chronic training load. We have termed this the “*acute:chronic workload ratio*” (also previously referred to as “training-stress balance”) (Gabbett, 2016). When the acute:chronic workload ratio was within the range of 0.8 to 1.3 (i.e. the acute training load was approximately equal to the chronic training load), the risk of injury was relatively low. However, when the acute:chronic workload ratio ≥ 1.5 (i.e. the acute training load was much greater than chronic training load), the risk of injury increased exponentially (Blanch & Gabbett, 2015). The protective effect of training appears to arise from two sources: (1) exposure to “load” allows the body to tolerate “load”, and (2) training develops the physical qualities (e.g. strength, prolonged high-intensity running ability, and aerobic fitness) that are associated with a reduced injury risk (Gabbett & Domrow, 2007; Gabbett, Ullah, & Finch, 2012; Malone et al., 2016).

Although “spikes” in training load may contribute to injuries, undertraining and “troughs” in training load may elicit similar negative consequences. For example, a “U”-shaped relationship between the number of maximal velocity exposures and injury risk has been shown in team sport athletes; both over-*and under-training* increased injury likelihood (Malone et al., 2016) (Malone et al., 2016). The risk associated with exposure to maximal velocity running is mitigated through exposure to high chronic training loads (Furlan et al., 2015; Kristensen, van den Tillaar, & G, 2006; Malone et al., 2016).

These results have three important practical implications; (1) high chronic training loads may protect against injury, (2) athletes are better able to tolerate the high-intensity components of training and competition if they have been exposed to higher chronic training loads, and (3) the acute:chronic workload ratio is a greater predictor of injury than either acute or chronic load in isolation. As such, to adequately prepare Rugby Sevens players for match-play, physical preparation coaches should aim to safely develop high chronic training loads, using the acute:chronic workload ratio to guide increases and decreases in load.

Competition on the Sevens World Series involves travel across multiple time zones in the days prior to competition. It can be expected that athletes will suffer from disrupted sleep (length and quality), other jet lag symptoms, hormonal disruptions, alterations in markers of muscle damage and a short term decrease in performance (Kraemer et al., 2016). Physical preparation coaches should consider their travel schedules and attempt to begin the travel process with adjustments in sleep prior to departure along with ensuring travel hygiene and nutritional quality is maintained.

Unpublished data from the authors of this paper would suggest the physical preparation coach would benefit from a combination of both objective and subjective data encompassing physiological wellness, neuromuscular status, fluctuations in body weight and athlete ratings of their recovery and readiness to train. Further unpublished data shows that indices of exercising heart rate recover at a different rate to peak velocity on a vertical jump and at different rates depending on the length and direction of travel demonstrating the need for multifaceted monitoring systems to encompass these different biological systems. Furthermore, Saw, Main & Gastin (2015) demonstrate the value in subjective data and so it is recommended that this is also a central component to monitoring athlete readiness to train. Due to the nature of long haul travel, the physical preparation coach may also benefit from utilising measures of mobility such as a sit and reach or knee to wall on a daily basis. With all monitoring practices, in order to give them context it is important to compare an athlete to their normative data and so it is recommended that the physical preparation coach schedules them into the weekly training out of competition periods to establish baseline data and what is acceptable change.

Tournament Preparation

Within the “aerated” format of competition, a balance must be struck between the high loads required to develop physical capacity (Gabbett, 2016) and instigation of peak performances on the day of competition (Bosquet, Montpetit, Arvisais, & Mujika, 2007; Gorostiaga, Izquierdo, Iturrealde, Ruesta, & Ibanez, 1999; Mujika & Padilla, 2003). The challenge of consecutive competition days separated by a six-day week featuring international travel is relatively unique in sport and must be deliberately addressed in order to maximize results of a physical preparation program. A taper, variously defined as “a specialized exercise training technique which has been designed to reverse training-induced fatigue without a loss of the training adaptations” (Neary, Martin, Reid, Burnham, & Quinney, 1992) or “a period of reduced training volume to enhance performance” (Trappe, Costill, & Thomas, 2000), is one such method which can be utilized in the buildup to tournaments. Based on the data presented by Mujika and Bosquet, the following practical implications for optimum tapering strategies can be drawn:

1. Maintenance of training intensity to avoid detraining
2. Reductions in training volume as high as 30-60%
3. Use of a period lasting to 4-28 days

Decreasing training load by ~30% during taper weeks via a reduction in the duration and frequency of training while maintaining intensity can increase performance in high-intensity activities among field sport athletes (Fessi et al., 2016). Figure XYZ details load variations before and between two successive IRB World Series tournaments among an elite, Olympic-qualified team during the 2015/2016 season.

Data were collected from 9 players (age: 27.2 ± 5.2 years; body mass: 90.0 ± 11.5 ; height: 182.8 ± 8.5 cm) who did participated in all training sessions during the observed period. The first week, termed “week of preparation” WP preceded that just prior to and between the two tournaments (W T1 and W T2, respectively). The ABC details sample programming across three such weeks, while able 1 and 2 shows training loads observed during the three weeks, as calculated by the sum of the sRPE (detail here?) for all training sessions performed per week (Impellizzeri et al., 2004). The data demonstrate effective reduction of the training load between the last week of preparation (WP) and the week before the first tournament (W T1) alongside a total duration of training (min) and sRPE (arbitrary units) decrease of 34 ± 0 % and 36 ± 9 %, respectively (table 1). The total distance and consequently the distance traveled at slow and high intensities were also significantly reduced in W T1 (table 2). Because of reduced movement on the field during the training sessions in W T1, the observations of fewer sprints during this week were predictable. However, with the ratio between the number of sprints and the rugby duration of the week, players are observed actually performing more sprints per minute in W T1 than WP. High intensity distance (HID) in W T1 were slightly reduced (-2.6 ± 8.9 %), perhaps due lower duration of match-simulation sequences undertaken during tactical rugby sessions. In order to retain a high number of explosive moments, physical preparation coaches can add short, high-

intensity running drills to the end of warm ups during sessions occurring in these tournament preparation weeks. In summary, the week before the first tournament (W T1) in a pair can be distinguished by a significant reduction of volume (duration, sRPE and distance) with intensity maintained via repeated high-intensity running drills.

A second consecutive weekly instance of international travel shapes the training load between paired tournaments (W T2). Recent research (West et al., 2014) concluded that a single Sevens tournament reduces the neuromuscular function such that players are not fully recovered to baselines by the start of the second competition stage, emphasis and priority should be placed on enhanced recovery strategies here. Total training loads are reduced in W T2 as compared to both WP and W T1 in part due via a reduction in number of sessions completed, with only one additional sequence of maximal power (table 1 and 2). A progressive reduction within the week for the total and high intensity distance travelled is common (figure 2).

Common among team sports are a “captains run” or ritual session in the day before (or last hours before) the start of a competition. These sessions are often termed as “preloading” or a “blow out” consisting of small-sided games and repeated sprints, though it has been observed (Ferrauti et al., 2011) that no significant benefits were observed on a soccer specific endurance test performed 4 hours after such a session. Therefore, further work on this topic is warranted in order to determine the effect and role of different types of sessions immediately prior to competitions in order to optimize match play preparation. Alternative to the above-described taper is a “high-low-high” approach, which may also be successful. Unpublished data from the authors indicates reduces intra-tournament muscle soreness resulting from such an approach as compared to a taper. Physical preparation coaches must trial and error as well as adjust to the specific athletes at hand and determine the most appropriate approach to prepare for tournaments.

Preparation for travel with respect to maintaining training adaptations is emphasized in WP, recovery from travel with reduction in training volume alongside maintenance (or slight increase) of intensity features in W T1, while focus turns largely to neuromuscular recovery of the athletes in W T2. “Captains runs”, or sessions programmed in the immediate 4 to 24 hours prior to commencement of competition, may be very impactful on performance yet are unclear at the time of submission.

Matchday Nutrition and Recovery

Careful and deliberate athlete management across two or three days must be achieved if a full roster of athletes is to be fit and available for a sixth and final tournament match where honors are at stake. A significant fatigue-induced decrease in physical performance and increase in physiological load in the second half of games compared to the first half (Suarez-Sanchez, 2015) potentially explains the higher incidence of injury both late in individual games and over the course of tournaments (Fuller, Taylor, & Raftery, 2016). On the IRB World Series, intervals from

one game to the next are typically between two and three hours. Both coaches and medical staff must implement efficient strategies throughout and between the competition days in order to minimize injuries and maximize game to game performance.

Post-match priorities include parasympathetic system activation, rehydration and nutrient replenishment, and soft tissue care via a variety of methods. A typical example of recovery and game preparation protocols between two Rugby Sevens games can be described as follows, highly dependent on resources, feasibility and athlete individualization:

- **Step 0 - Postgame Debriefing:** A very short game debriefing (2-min) is given by the head coach directly on the pitch.
- **Step 1 - Rehydration and Refueling:** Replenishment of muscle glycogen and repairing of muscle tissue damage incurred from the physical demands of Rugby Sevens (repeated high-intensity running, sprinting, accelerations/decelerations, collisions) can be instigated by consuming 1-1.5g carbohydrate.kg⁻¹ in addition to 20-25g of protein within 30 min after the game. The consumption of 150% of sweat losses in fluid during the recovery phase can effectively rehydrate an athlete, especially in hot conditions (Sawka et al., 2007). In all cases, within these broad guidelines, it is recommended that personal preferences be recognized and palatability and osmolality of food and beverages consumed be prioritized to avoid gastric distress.
- **Step 2 – Cold and Contrast Water Immersion:** Despite conflicted literature, Contrast Water Immersion has been shown to be an effective strategy to enhance recovery after high intensity exercise by controlling hyperthermia, reducing muscle inflammation and damage and decreasing muscle soreness (Ihsan, Watson, & Abbiss, 2016). Parasympathetic reactivation has been demonstrated with this method in simulated Sevens games. While Cold Water Immersion is a highly individual preference and may offer primarily a placebo effect, where available and desired by the athlete (Broatch, Petersen, & Bishop, 2014) a protocol of whole-body immersion lasting at least 10 minutes (max.: 20 min) at a temperature of 12 to 15°C immediately after the game may be effective (Poppendieck, Faude, Wegmann, & Meyer, 2013).
- **Step 3- Soft Tissue Care:** Given that many athletes present post-match with minor injuries, soft tissue care protocols are an important part of preparation for subsequent games in a tournament. Massage is resource-dependent, while simple inversion of legs vertically up a wall or on a chair can be a cheap and effective way of redirecting fluid in the lower extremities (Poppendieck, Wegmann, & Ferrauti, 2016). Foam rollers and self-massage balls are commonly used as well and are recommended for potential range of motion and blood flow benefits once the above time-sensitive priorities have been addressed (Cheatham, Kolber, Cain, & Lee, 2015). Recent literature has detailed potentially beneficial effects of compression garments for recovery of muscle function, muscle soreness and blood markers of muscle damage (Azad, Holmberg, & Sperlich, 2016; Hill, Howatson, van Someren, Leeder, & Pedlar, 2013), so the use of these materials could be utilized by athletes between games.

- **Step 4 – Pre-Game Snack:** While feeding remains a highly individual preference and response, in an effort to continue (re)fueling it is recommended to consume a carbohydrate-rich meal no later than 1 hour before each game. Carbohydrate-rich foods and drink may help to ensure that fuel targets are met before subsequent exercise bouts (1-1.2 g/kg/hour) (Thomas, Erdman, & Burke, 2016), while food density and fiber and fat portions must be considered with gastric comfort as a priority. Caffeine ingestion (1-3 mg.kg⁻¹, equivalent to about 2-3 espressos for a Rugby Sevens player one hour prior games) can be utilized as an ergogenic aid (Roberts et al., 2010), although caution must be taken over a 2-3-day tournament concerning the deleterious effects of repeated dosing of caffeine, with quality sleep between competition days prioritized (Dziedzic & Higham, 2014).
- **Step 5 – Brief Nap (optional):** Time permitting, brief (15-20 min) naps between games could improve both cognitive and motor performance (Hilditch, Dorrian, & Siobhan, 2016). Caffeine consumption immediately prior to the nap may lessen the phenomenon of sleep inertia after waking (Waterhouse & Al, 2007).
- **Step 6 – Repeat Soft Tissue Care**
- **Step 7 – Pre Game Briefing**
- **Step 8 – Warm-up**

Summary

TO BE WRITTEN AND SENT FOR FEEDBACK BEFORE SUBMISSION

Tables and Figures

Table 1. Duration, frequency and training load before and between two Rugby Sevens tournaments

	Pool Mean \pm SD	Cup Mean \pm SD	ES \pm 90% CL
Locomotor Demands	<i>N</i> =78	<i>N</i> =58	
Total Distance (m)	1446 \pm 299	1423 \pm 285	-0.012 \pm 0.25
High-Speed Running (m)	254 \pm 123	246 \pm 117	-0.094 \pm 0.96
Maximal Velocity (m/s)	8.11 \pm 0.70	8.22 \pm 0.80	0.067 \pm 0.27
Match Activities	<i>N</i> =199	<i>N</i> =207	
Ball Carries	3.51 \pm 2.51	3.82 \pm 2.57	0.047 \pm 0.15
Total Rucks Attended	2.26 \pm 3.91	3.15 \pm 3.54	0.07 \pm 0.12
Tackles	2.41 \pm 2.29	2.72 \pm 2.48	0.12 \pm 0.14

Notes: N=number of data files. High-Speed Running = >5m/s; ES= effect size, CL= confidence limits

From Ross et al. 2014

Figure 1. A sample Rugby Sevens weekly training schedule

Monday (medium)	Tuesday (hard)	Wednesday (low)	Thursday (very hard)	Friday (low-medium)	Saturday (low)	Sunday (rest)
Monitoring	Monitoring	Remote Monitoring	Monitoring	Monitoring	Remote Monitoring	Remote Monitoring
Physical Prep (mobility/activations)	Physical Prep (mobility/activations)	Soft Tissue Active Recovery Pool Sessions Low Level Aerobic Work	Physical Prep (mobility/activations)	Physical Prep (mobility/activations)	Active recovery Top Ups or additional training components	
Speed (acceleration bias)	Rugby – Hard		Speed (max velocity biased)	Rugby – low/medium		
Gym (Lower Bias)		Rest	Gym (Whole Body Bias)			
Rugby - Medium	Gym (Upper Bias + Posterior Chain)		Rugby - Hard	Gym (circuits/extras)		

Figure 2. A sample monthly periodization scheme

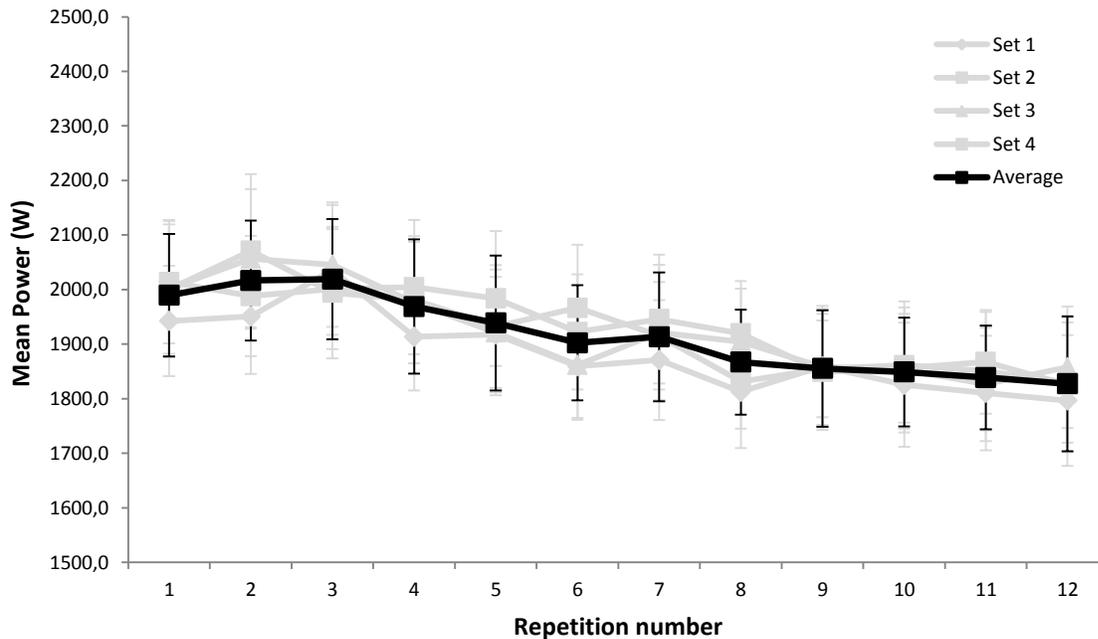
Week	Intensity	Sets x Reps
Week1	Medium	4x5
Week2	Hard	4x4
Week3	De-load	2-3x 3-4
Week4	Very Hard	5x2

Figure 3. Sample weekly exercise selection

Session 1		Session 2		Session 3	
Lower Body Bias		Upper Body Bias		Whole body Bias	
A1 Back Squat	4x5	A1 Bench Press	4x5	A1 BB Step Ups	4x5e/s
B1 SL Hip Thruster	4x8e/s	B1 RDL	4x5	B1 BB Push Press	4x5
B2 OH Push Ancillary	3x10-12	A2 Wtd Pull Ups	4x5	B2 Ancillary Chest	3x10-12
C1 Lateral Slideboard	4x8e/s	C1 DB Seated Shoulder Press	4x5	C1 Ancillary LB (goblet)	3x10
C2 DB walking Lunges	3x8e/s	C2 Ancillary Row	3x10-12	C2 Ancillary Row	3x10-12

LB=Lower Body, UB=Upper Body, BB=Barbell, DB=Dumbbell

Figure 4. Power decrement across an exercise set



Repetition x repetition mean power output for 4 sets of 12 CMJs with a 30% 1RM load ($n = 12$)

Figure 5. Sample repeated-power-training progressions

Progression	Number of series (no.)	Number of sets (no.)	Number of repetitions (no.)	Within-Set Rest/Clusters (s rest/no. repetitions)	Inter-set Rest (s)
A	1	4	15	5 s rest/5 rep Cluster	120
B	2	4	12	n/a	60
C	3	4	10	n/a	30

Figure 6. Weekly programming of the international Rugby Sevens team before and between two tournaments.

WP

Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Resistance Strength & power	Resistance Strength & power		Resistance Strength & power		Travel	
Rugby tact	Rugbytech & tact		Rugby tact & Lactic (aer. game)			Rugby tech and tact
HITcycle					Active recovery	
Recovery	Recovery		Recovery		Swimming pool	Recovery

WT1

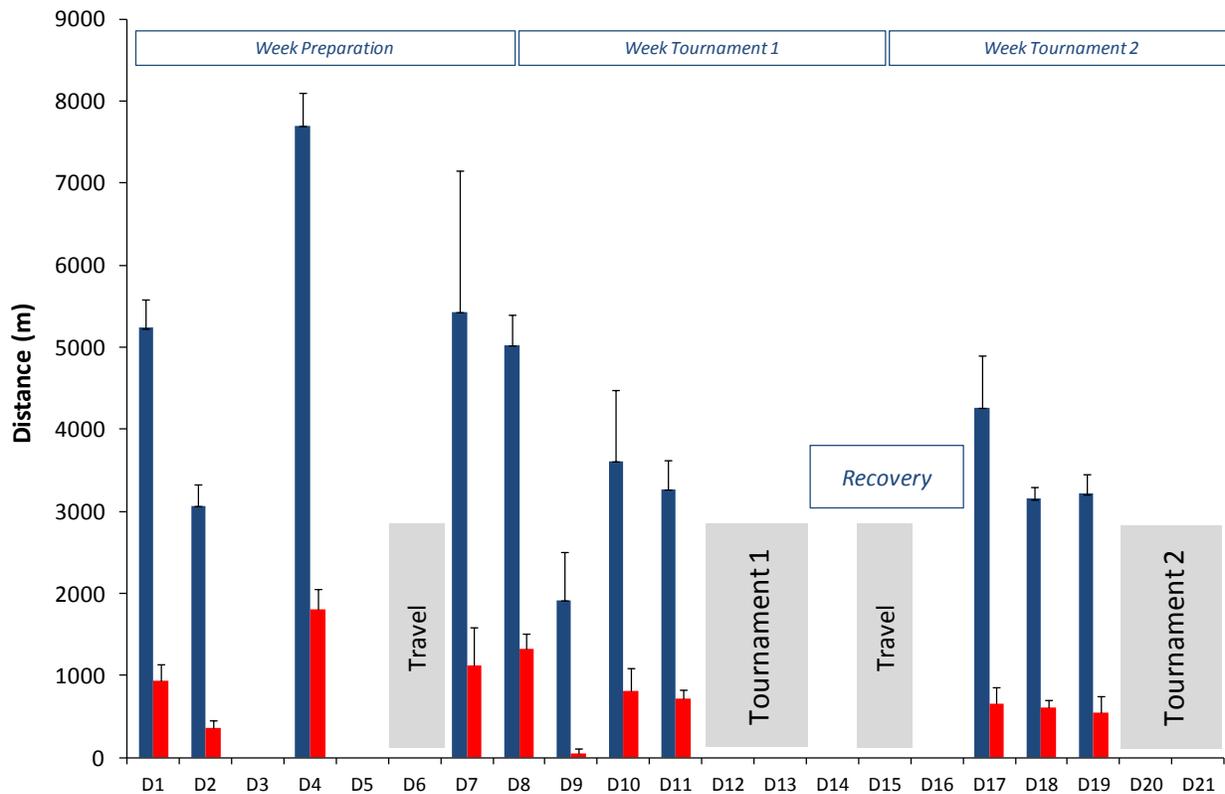
Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Resistance Strength & power	Rugby tech	Rugby tact	Rugby tact	Match 1	Match 1	Recovery
	Recovery		Recovery			
Rugby tact & lact		Resistance Explosivity/Power		Match 2	Match 2	
Recovery		Recovery		Match 3	Match 3	

WT2

Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Travel		Rugby	Rugby	Rugby	Match 1	Match 1
		Recovery	Recovery	Recovery		
Active recovery Swimming pool	Active recovery Cycle and elliptic		Resistance Explosivity/Power		Match 2	Match 2
					Match 3	Match 3

WP: one week before the first tournament, WT1: one week before the first tournament, WT2: one week before the second tournament. Tech: technique, Tact: tactical, aer: aerobic

Figure 7. Variation of daily distance travelled before and between two Rugby Sevens tournaments.



Blue bars: distance total, red bars: high intensity distance.

Table xyz. Duration, frequency and training load before and between two Rugby Sevens tournaments

	WP	W T1	W T2	% S48/S49	% S49/S50	% S48/S50
Total training (min)	530	350	260	-34%	-26%	-51%
Rugby (min)	350	250	160	-29%	-36%	-54%
HIT (min)	60			-100%		-100%
Strength/power (min)	120	100	40	-17%	-60%	-67%
Active recovery (min)			60		100%	100%
Frequency training (n)	8	6	5	-25%	-16.7%	-27.5%
sRPE (u.a.)	2935±496	1865±287	1269±284	-36±9%	-33±7%	-57±6%

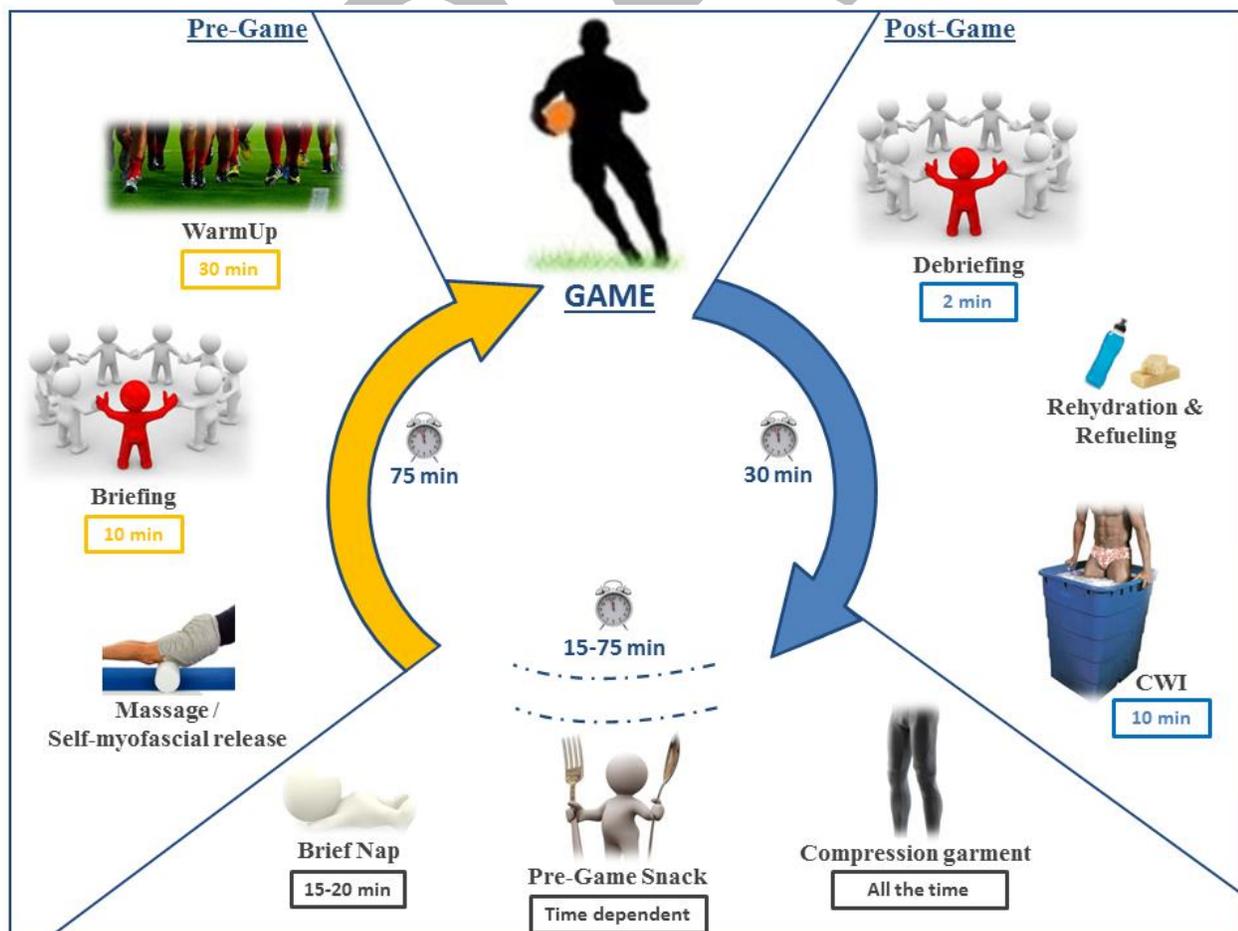
RPE: rate of perceived exertion. sRPE (u.a.)= RPE×duration (min)

Table 2. Mean values (\pm SD) of the physical training activity the weeks before and between two Rugby Sevens tournaments

	WP	W T1	W T2	% S48/S49	% S49/S50
Total distance (m)	23885 \pm 952	13620 \pm 1462	10634 \pm 865	-43,0 \pm 5,2	-21,5 \pm 7,1
Sprints (n)	200 \pm 35	171 \pm 28	111 \pm 28	-13,8 \pm 8,2	-35,3 \pm 13,3
Sprints (n/min)	0,57 \pm 0,10	0,68 \pm 0,11	0,70 \pm 0,18	20,8 \pm 11,4	1,1 \pm 20,8
LID (m)	18655 \pm 457	10718 \pm 1027	8809 \pm 650	-42,6 \pm 5,2	-17,2 \pm 9,6
% LID	78,2 \pm 2,1	78,8 \pm 2,0	82,9 \pm 3,0	0,8 \pm 2,5	5,2 \pm 3,2
HID (m)	5230 \pm 698	2901 \pm 505	1825 \pm 418	-44,4 \pm 7,5	-37,2 \pm 7,3
% HID	21,8 \pm 2,1	21,2 \pm 2,0	17,1 \pm 3,0	-2,6 \pm 8,9	-19,5 \pm 11,5

WP: one week before the first tournament, W T1: one week before the first tournament, W T2: one week before the second tournament. LID: low intensity distance, HID: high intensity distance.

Figure 9. Between-game recovery strategies during Rugby Sevens tournament



Reference List

- Azad, F., Holmberg, E. H., & Sperlich, B. (2016). Is There Evidence that Runners can Benefit from Wearing Compression Clothing ? *Sports Medicine*. <http://doi.org/10.1007/s40279-016-0546-5>
- Baker, D. G., & Newton, R. U. (2007). Change in power output across a high-repetition set of bench throws and jump squats in highly trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 21(4), 1007–1011. <http://doi.org/10.1519/R-22376.1>
- Baker, D. G., & Sciences, H. (2016). Comparison of strength levels between players from within the same club that were selected versus not-selected to play in the Grand Final of the National Rugby League competition. *Strength and Conditioning Journal*. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001604>
- Blanch, P., & Gabbett, T. J. (2015). Has the athlete trained enough to return to play safely ? The acute : chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player ' s risk of subsequent injury. *British Journal of Sports Medicine*, (September 2016), 1–5. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095445>
- Bosco, C., Cotelli, F., & Bonomi, R. (1994). Seasonal fluctuations of selected physiological characteristics of elite alpine skiers, 71–74.
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., & Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1358–1365. <http://doi.org/10.1249/mss.0b013e31806010e0>
- Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2014). Postexercise cold water immersion benefits are not greater than the placebo effect. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(11), 2139–2147. <http://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000348>
- Buchheit, M., Samozino, P., Glynn, J. A., Michael, B. S., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., & Morin, J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1906–1913. <http://doi.org/10.1080/02640414.2014.965191>
- Cheatham, S. W., Kolber, M. J., Cain, M., & Lee, M. (2015). The effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther*, 10(6), 827–38.
- Cormie, P., McGuigan, M., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power part 2- Training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, 24(1), 573–580. <http://doi.org/10.2165/11536850-000000000-00000>
- Dziedzic, C., & Higham, D. (2014). Performance nutrition guidelines for international rugby sevens tournaments. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(3).

- Ferrauti, A., Oh, S., Droscher, S., Mierau, A., Thevis, M., Thomas, A., & Fernandez, J. (2011). Effects of preloading exercise intensity on physical and cognitive performance in soccer. *ECSS Liverpool*.
- Fessi, M. S., Zarrouk, N., Di Salvo, V., Filetti, C., Barker, A. R., & Moalla, W. (2016). Effects of tapering on physical match activities in professional soccer players. *Journal of Sports Sciences*, *414*(April), 1–6. <http://doi.org/10.1080/02640414.2016.1171891>
- Fuller, C. W., Taylor, A. E., & Raftery, M. (2016). Should player fatigue be the focus of injury prevention strategies for international rugby sevens tournaments? *British Journal of Sports Medicine*, *50*(11), 682–7. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096043>
- Furlan, N., Waldron, M., Shorter, K., Gabbett, T. J., Mitchell, J., Fitzgerald, E., ... Gray, A. J. (2015). Running-intensity fluctuations in elite rugby sevens performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(6), 802–807. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0315>
- Furusawa, K., Hill, A., & Parkinson, J. (1927). Dynamics of “Sprint” Running. *Proceedings of the Royal Society of Britain*, *102*(10), 29–42.
- Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 1–9. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Gabbett, T. J., & Domrow, N. (2007). Relationships between training load, injury, and fitness in sub-elite collision sport athletes. *Journal of Sports Sciences*, *25*(September 2014), 1507–1519. <http://doi.org/10.1080/02640410701215066>
- Gabbett, T. J., Ullah, S., & Finch, C. F. (2012). Identifying risk factors for contact injury in professional rugby league players - Application of a frailty model for recurrent injury. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *15*(6), 496–504. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.03.017>
- Gabbett, T. J., & Wheeler, A. J. (2014). Predictors of repeated high-intensity effort ability in rugby league players. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, *20*(127).
- Gabbett, T. J., & Wheeler, A. J. (2015). Predictors of repeated high-intensity-effort ability in rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(6), 718–724. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0127>
- Gonzalo-Skok, O., Tous-Fajardo, J., Arjol-Serrano, J. L., Suarez-Arrones, L., Casajús, J. A., & Mendez-Villanueva, A. (2015). Low-volume Repeated Maximal Power Training Improves Repeated Sprint Ability and Horizontal Jumping Performance in Elite Young Basketball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, (December). <http://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0612>

- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Iturralde, P., Ruesta, M., & Ibanez, J. (1999). Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players (Effets d'un entraînement de résistance lourde sur la production de force explosive et maximale, sur l'endurance et . *Eur.J.Appl.Physiol.*, *80*(5), 485–493. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=SPHS-640629&lang=es&site=ehost-live>
- Hatfield, D. L., Kraemer, W. J., Volek, J. S., & Rubin, M. R. (2006). THE Effects of Carbohydrate Loading on. *Methods*, *20*(1), 167–171.
- Hester, G. M., Conchola, E. C., Thiele, R. M., & DeFreitas, J. M. (2014). Power output during a high-volume power-oriented back squat protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, *28*(10), 2801–5. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000484>
- Higham, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., & Eddy, A. (2012a). Movement patterns in rugby sevens: Effects of tournament level, fatigue and substitute players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *15*(3), 277–282. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.11.256>
- Higham, D. G., Pyne, D. B., Anson, J. M., & Eddy, A. (2012b). Movement patterns in rugby sevens: effects of tournament level, fatigue and substitute players. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, *15*(3), 277–82. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.11.256>
- Hilditch, C., Dorrian, J., & Siobhan, B. (2016). Time to wake up: Reactive countermeasures to sleep inertia. *Industrial Health*.
- Hill, J., Howatson, G., van Someren, K., Leeder, J., & Pedlar, C. (2013). Compression garments and recovery from exercise-induced muscle damage: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(18), 1–7. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092456>
- Hulin, B., Gabbet, T., Blanch, P., Chapman, P., Bailey, D., & Orchard, J. (2014). Spikes in acute workload are associate with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *British Journal of Sports Medicine*, *48*, 708–712.
- Hulin, B., Gabbett, T., Caputi, P., Lawson, D., & Sampson, J. (2016). The acute:chronic workload ratio predicts injury: High chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *British Journal of Sports Medicine*, *50*, 231–236.
- Ihsan, M., Watson, G., & Abbiss, C. R. (2016). What are the Physiological Mechanisms for Post-Exercise Cold Water Immersion in the Recovery from Prolonged Endurance and Intermittent Exercise ? *Sports Medicine*. <http://doi.org/10.1007/s40279-016-0483-3>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(6), 1042–1047. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000128199.23901.2F>

- Johnston, R. D., Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Hulin, B. T. (2008). Influence of Fatigue on Tackling Technique in Rugby League Players. *J Strength Cond Res*, 22(2), 625–632. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181635a6a>
- Kraemer, W. J., Hooper, D. R., Kupchak, B. R., Saenz, C., Brown, L. E., Vingren, J. L., ... Maresch, C. M. (2016). The Effects of a Roundtrip Trans-American Jet Travel on Physiological Stress, Neuromuscular Performance and Recovery. *Journal of Applied Physiology*, jap.00429.2016. <http://doi.org/10.1152/japphysiol.00429.2016>
- Kristensen, G., van den Tillaar, R., & G, E. (2006). Velocity Specificity in Early-Phase Sprint Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, November(4), 833–837.
- Malone, S., Roe, M., Doran, D., Gabbett, T., & Collins, K. (2016). High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, In Press.
- Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(MARCH), 3921–3930. <http://doi.org/10.1007/s00421-012-2379-8>
- Morin, J. B., Samozino, P., Edouard, P., & Tomazin, K. (2011). Effect of fatigue on force production and force application technique during repeated sprints. *Journal of Biomechanics*, 44(15), 2719–2723. <http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.07.020>
- Morin, J. B., Slawinski, J., Dorel, S., De Villareal, E. S., Couturier, A., Samozino, P., ... Rabita, G. (2015). Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: Push more, brake less? *Journal of Biomechanics*, In Press(December), 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.07.009>
- Morin, J.-B. (2013). Sprint Running Mechanics: New Technology, New Concepts, New Perspectives. *Sports Medicine Aspetar*, 326–332.
- Morin, J.-B., & Samozino, P. (2015). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, Accepted D(February), 1–10. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mosey, T. (2011). Power endurance and strength training methods of the Australian lightweight men's four. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, 19(1), 9–19.
- Mujika, I., & Padilla, S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1182–1187. <http://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074448.73931.11>
- Murray, N., Gabbett, T., Townshend, A., Hulin, B., & McLellan, C. (n.d.). Individual and combined effects of acute and chronic running loads on injury risk in elite Australian footballers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.

- Neary, J. P., Martin, T. P., Reid, D. C., Burnham, R., & Quinney, H. A. (1992). The effects of a reduced exercise duration taper programme on performance and muscle enzymes of endurance cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(1), 30–36. <http://doi.org/10.1007/BF01466271>
- Nummela, A., Keränen, T., & Mikkelsen, L. O. (2007). Factors related to top running speed and economy. *International Journal of Sports Medicine*, 28(8), 655–661. <http://doi.org/10.1055/s-2007-964896>
- Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M., & Meyer, T. (2013). Cooling and performance recovery of trained athletes: A meta-analytical review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(3), 227–242.
- Poppendieck, W., Wegmann, M., & Ferrauti, A. (2016). Massage and Performance Recovery : A Meta-Analytical Review. *Sports Medicine*, 46(2), 183–204. <http://doi.org/10.1007/s40279-015-0420-x>
- Roberts, S. P., Stokes, K. a, Trewartha, G., Doyle, J., Hogben, P., & Thompson, D. (2010). Effects of carbohydrate and caffeine ingestion on performance during a rugby union simulation protocol. *Journal of Sports Sciences*, 28(8), 833–842. <http://doi.org/10.1080/02640414.2010.484069>
- Ross, A., Gill, N., & Cronin, J. (2014). The match demands of international rugby sevens. *Journal of Sports Sciences*, (January), 37–41. <http://doi.org/10.1080/02640414.2014.979858>
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2015). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, (May 2014), bjsports-2015-094758. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
- Sawka, M., Burke, L., Eichner, E., Maughan, R., Montain, S., & Stachenfeld, N. (2007). American College of Sports Medicine Position Stand: Exercise and Fluid Replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*.
- Suarez-Arrones, L., Arenas, C., López, G., Requena, B., Terrill, O., & Mendez-Villanueva, A. (2014). Positional differences in match running performance and physical collisions in men rugby sevens. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 316–323. <http://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0069>
- Suarez-Arrones, L., Núñez, J., Sáez de Villareal, E., Gálvez, J., Suarez-Sanchez, G., & Munguía-Izquierdo, D. (2015). Repeated-High Intensity Running Activity and Internal Training Load of Elite Rugby Sevens Players During International Matches: A Comparison Between Halves. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, (August), 1–44. <http://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0523>
- Suarez-sanchez, G. (2015). Repeated-High Intensity Running Activity and Internal Training Load of Elite Rugby Sevens Players During International Matches: A Comparison Between Halves. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449. <http://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(3), 501–528. <http://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>
- Thomasson, M. L., & Comfort, P. (2012). Occurrence of fatigue during sets of static squat jumps performed at a variety of loads. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(3), 677–83. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822a61b5>
- Trappe, S., Costill, D., & Thomas, R. (2000). Effect of swim taper on whole muscle and single muscle fiber contractile properties. *Med.Sci.Sports Exerc.*, 32(0195–9131), 48–56. <http://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00009>
- Volek, J. S., Kraemer, W. J., Bush, J. A., Boetes, M., Incledon, T., Clark, K. L., & Lynch, J. M. (1997). Creatine supplementation enhances muscular performance during high- intensity resistance exercise. *Journal of the American Dietetic Association*, 97(7), 765–770. [http://doi.org/10.1016/S0002-8223\(97\)00189-2](http://doi.org/10.1016/S0002-8223(97)00189-2)
- Waterhouse, J., & Al, E. (2007). The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, motor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. *Journal of Sports Sciences*, 25(14), 1557–1566.
- West, D. J., Cook, C. J., Stokes, K. A., Atkinson, P., Drawer, S., Bracken, R. M., & Kilduff, L. P. (2014). Profiling the time-course changes in neuromuscular function and muscle damage over two consecutive tournament stages in elite rugby sevens players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(6), 688–692. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.11.003>

Résumé de la thèse

Titre : Analyse des variables physiques, métaboliques et contextuelles de la performance sportive :
Le cas du Rugby à 7, nouvelle discipline olympique

Mots clés : GPS, lactate, statut acido-basique, répétitions d'efforts

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre de travaux menés en sciences du sport. Basé sur l'exploration des caractéristiques physiques et physiologiques, les performances techniques et physiques des joueurs de l'équipe de France de Rugby à 7, ont été étudiées au travers de l'analyse de tournois internationaux.

Dans une première étude, nous avons observé l'impact de variables contextuelles sur les performances physiques et techniques des joueurs en match. Les résultats démontrent que le niveau de l'adversaire ainsi que le résultat du match influencent l'activité des joueurs. Ces derniers sont susceptibles de réaliser de meilleures performances physiques au cours de match dont l'issue est favorable. En effet, les joueurs augmentent la distance totale parcourue dans un match contre un adversaire plus faible. Pour la première fois en Rugby à 7, nous avons montré que les performances techniques sont elles aussi influencées lorsque les joueurs de l'équipe de France jouaient contre une équipe plus forte. En effet, nous avons observé des diminutions du nombre de passes et de situations où les joueurs sont porteurs de balle.

Au travers d'une approche physiologique, une deuxième étude a appréhendé les réponses métaboliques individuelles des joueurs de l'équipe de France durant un tournoi international. Les résultats ont montré des relations significatives entre les concentrations de lactate et les pics d'activité enregistrés dans les trois dernières minutes de jeu, ce qui suggère que la capacité à fournir de l'énergie via la voie de la glycolyse est une exigence fondamentale dans cette discipline. L'équilibre acido-basique modifié de façon significative en fin de match, indique que les joueurs doivent être capables de tolérer un niveau important d'acidose due à une forte sollicitation énergétique lors des matchs internationaux.

Enfin, notre dernière étude s'est centrée sur les actions de haute intensité effectuées en match. Ces derniers résultats de recherche ont permis de démontrer qu'un joueur réalise en moyenne ~26 actions de haute intensité par match. De plus et pour la première fois dans cette discipline, nous avons montré qu'environ 4 séquences de répétitions d'actions de haute intensité sont comptabilisées en match, dont la durée moyenne est d'environ 40 secondes et comprennent des temps de récupérations inférieurs à 9 secondes. Ainsi, le Rugby à 7 peut être considéré comme un sport collectif de répétitions d'efforts intenses.

Pour conclure alors, ces travaux de thèse vont permettre aux entraîneurs et préparateurs physiques de Rugby à 7, de pouvoir s'inspirer de nos résultats pour planifier et mettre en œuvre des entraînements spécifiques aux exigences du Rugby à 7.

