

Réflexion Sport

Scientifique & technique

EXTRAIT

L'utilisation
des technologies
GPS/GNSS dans
l'entraînement
en sport collectif
L'exemple du rugby

The background of the cover is a photograph of rugby players in action on a grass field. A player in a white jersey with black stripes on the sleeves is in the foreground, leaning forward and holding a blue and white rugby ball. He is wearing white socks with black stripes at the top and yellow cleats. Behind him, another player in a light blue jersey is also leaning forward. The scene is brightly lit, suggesting an outdoor setting during the day.



L'utilisation des technologies **GPS/GNSS** dans l'entraînement en sport collectif *L'exemple du rugby*



Par Romain Dubois
Préparateur physique au CA Brive.



Depuis le début des années 2010, l'utilisation des micro-technologies GPS/GNSS s'est largement développée et semble devenir, aujourd'hui, un outil indispensable au processus d'entraînement pour les équipes de sports collectifs professionnelles. Mais à quoi correspond exactement cette technologie ? À quelles données donne-t-elle accès ? Comment est-elle utilisée ? Est-ce vraiment indispensable ?

“ ... définir l'évolution des coordonnées spatiales des joueurs au cours du temps... ”

Les sportifs seraient-ils tous devenus bossus ? Non pas que Quasimodo, reclus dans Notre-Dame, ait fait des émules, mais il est une protubérance qui est apparue dans le dos de nombreux athlètes. Un phénomène récent qui tend à se répandre. Il ne s'agit toutefois pas d'une maladie virale, mais d'une forme de contagion technologique. Sur les terrains du monde entier, nombreuses sont les équipes de sports collectifs d'extérieur (football, rugby à XV, rugby à XIII, football australien, hockey sur gazon...), féminines et masculines, à avoir adopté les micro-capteurs (Fig. 1), de petits boîtiers placés dans le dos des joueurs entre leurs deux omoplates, constitués, entre autres, d'une antenne GPS/GNSS¹. Ils permettent en effet de définir l'évolution des coordonnées spatiales des joueurs au cours du temps et de connaître la distance parcourue, la vitesse de déplacement et les accélérations/décélérations (par dérivée de la vitesse) des joueurs lors des

entraînements et des matchs (Tab. 1). Une unanimité confirmée dans l'étude d'Akenhead et Nassis (2016). En effet, ces derniers y montrent, en interrogeant les staffs de 82 clubs de football professionnel européens, américains et australiens, que le suivi de la charge de travail par GPS est systématique dans l'ensemble des 41 clubs qui ont répondu à l'étude, et que les variables les plus utilisées dans le suivi de l'entraînement étaient les accélérations (à différents seuils), la distance totale, la distance au-delà de $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ et les variables issues de l'évaluation métabolique. À partir de ces données, l'activité des joueurs lors de leur pratique peut ainsi être quantifiée. Les auteurs précisent également que cette technologie répond à deux objectifs principaux : l'analyse des exigences physiques en compétition et la quantification de la charge de travail lors des entraînements pour, entre autres, diminuer le risque de blessure. ▶



Figure 1 – Exemple de GPS utilisable en rugby.
Source : Mac-Lloyd sport.

1—GPS correspond au système américain. GNSS se rapporte aux capteurs utilisant le système américain, mais aussi ses pendant européen (Galiléo) et russe (GLONASS).

Variable	Unité	Type de variable
Distance totale	m	Volume

Description: distance totale parcourue par les joueurs durant leur pratique.

Variable	Unité	Type de variable
Distance relative	m·min ⁻¹	Intensité

Description: distance parcourue relativisée par rapport à la durée de pratique.

Variable	Unité	Type de variable
Distance de course à haute intensité	m	Volume/Intensité

Description: distance de course au-delà d'un certain seuil d'intensité. Ce seuil d'intensité peut être fixé à partir de valeurs absolues (ex : > 16 km·h⁻¹) ou de valeurs individualisées (ex : > 65 % V_{max} ; > 100 % VMA).

Variable	Unité	Type de variable
Distance de sprint	m	Volume/Intensité

Description: *idem* à la variable précédente pour des seuils de vitesse supérieurs. Cette variable est notamment très utilisée dans l'optique de la prévention des blessures des ischio-jambiers, entre autres.

Variable	Unité	Type de variable
Vitesse maximale	km·h ⁻¹	Intensité

Description: vitesse maximale atteinte par les joueurs lors de leur pratique.

Variable	Unité	Type de variable
Accélérations/ Décélérations	m·s ⁻²	Volume

Description: nombre d'accélérations identifiées à partir des données GPS. Le nombre d'accélérations peut également être catégorisé en différentes zones d'intensité (ex : 0-1,5 ; 1,5-2,5 ; 2,5-3,5 ; > 3,5 m·s⁻²).

Variable	Unité	Type de variable
Impacts/Collisions*	n	Volume/Intensité

Description: nombre d'impacts mesurés à partir des données issues des capteurs inertiels. Les impacts peuvent être catégorisés par zones d'intensité (ex : 2-5, 5-8, > 8G).

* Données issues des capteurs inertiels.

Tableau 1—Exemple de variables utilisées pour quantifier l'activité durant les entraînements et/ou les matchs.



Des doutes quant à la fiabilité des données ?

Avant l'utilisation de ces outils, la question de leur validité et de leur fiabilité doit être posée. Coutts et Duffield (2010) montrent ainsi que les GPS (1 Hz) ont un niveau acceptable de précision et de fiabilité pour mesurer la distance totale parcourue, mais que leur niveau de précision diminue à des vitesses élevées de course. Cependant, cette étude menée avec des GPS de 1 Hz ne représente pas les GPS les plus utilisés par les clubs professionnels, qui recourent à des fréquences d'enregistrement comprises entre 5 et 20 Hz. L'augmentation de la fréquence d'enregistrement permet d'améliorer la fiabilité des mesures, notamment pour des vitesses élevées, ainsi que pour les accélérations et décélérations (Jennings *et al.* 2010 ; Aughey, 2011 ; Waldron *et al.* 2011 ; Varley *et al.* 2012 ; Johnston *et al.* 2013). Néanmoins, les mesures demeurent moins précises (sous-estimation du déplacement) lorsque l'activité se déroule dans un espace réduit (Vickery *et al.* 2014). En ce qui concerne la vitesse maximale, les derniers outils sortis permettent de renseigner les vitesses maximales en sprint avec un niveau de validité acceptable (biais de 1 à 3 %) [Roe *et al.* 2017].

Il convient de noter aussi que les outils commercialisés intègrent la plupart du temps des capteurs inertiels donnant accès à d'autres informations que la distance et la vitesse. Avec une fréquence d'enregistrement de 100 à 1 000 Hz, ces capteurs inertiels permettent de quantifier les impacts/collisions, ainsi que les sauts et autres mouvements spécifiques de l'activité (Gabbett, 2013). Des données dont la fiabilité semble toutefois encore insuffisante, même si des études démontrent des corrélations notables entre le nombre d'impacts relevés sur ces GPS et des marqueurs sanguins des dommages musculaires dus aux contacts (McLellan *et al.* 2010 ; Dubois *et al.* 2018). Différents fabricants mettent également en place des algorithmes censés permettre la mesure d'actions spécifiques (temps de poussée en mêlée, temps passé au sol, nombre de sauts en touches...). C'est dans ce sens que Chambers *et al.* (2019) ont mené une



©Icon sport

étude qui a démontré que certains capteurs permettaient d'identifier le nombre de mêlées disputées par les avants en match ou à l'entraînement, en rugby à XV. Malgré ces avancées, il apparaît plus sage de considérer ces variables avec précaution, en l'attente d'une validation scientifique. Aussi, l'analyse des données GPS pour déterminer des actions de combat doit encore, pour le moment, être couplée à des analyses vidéo.

Une analyse immédiate et embarquée

La promesse de cette technologie est donc de définir la charge de travail imposée aux joueurs durant les phases de pratique, soit la caractérisation des sollicitations physiques déterminées à partir de marqueurs externes, qui par conséquent ne prend pas en considération les réponses physiologiques (fréquence cardiaque, lactatémie...) et/ou psychologiques (difficulté perçue, plaisir ressenti...) du sportif en action (Soligard *et al.* 2016). Mieux, elle offre une disponibilité quasi instantanée des variables considérées tant à l'entraînement qu'en match ou en réhabilitation. Un prodige qui réclamait, il y a encore quelques années, plusieurs heures de traitement et d'analyses vidéo.

Au-delà de cette immédiateté, un des éléments qui a contribué à la démocratisation de cette technologie, notamment en rugby, est la possibilité de s'en équiper durant la compétition, permettant ainsi de caractériser les sollicitations physiques et les efforts de course en match. Or, définir ces sollicitations constitue un élément essentiel au processus d'entraînement et permet de comprendre et de considérer :

- les exigences précises de la compétition ;
- les éventuelles différences entre les postes de jeu pour l'individualisation de l'entraînement.

“ ... mieux caractériser les intensités de déplacement sur les séquences de jeu. ”

Ainsi, le nombre d'études scientifiques liées à cette technologie a littéralement explosé depuis les années 2010. Si les premières se focalisaient sur l'analyse des déplacements en considérant l'ensemble du match (80 min en rugby), actuellement quelques études se focalisent sur le temps de jeu effectif (*time of « ball-in-play »*) pour mieux caractériser les intensités de déplacement sur les séquences de jeu (Fig. 2). En analysant les données ainsi, nous sommes passés de l'analyse d'une intensité moyenne à l'identification des séquences de jeu les plus exigeantes qui semblent constituer un des facteurs de la performance physique. « *Se préparer au pire* », voilà ce qui témoigne de la démarche actuelle (Reardon *et al.* 2017). En se focalisant sur les séquences de jeu, nous observons une dynamique de l'intensité de déplacement (la distance relative en $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$) en fonction de la durée des séquences, ainsi des critères d'intensité sont définis et utilisables pour s'assurer de l'intensité des déplacements lors des entraînements. ▶

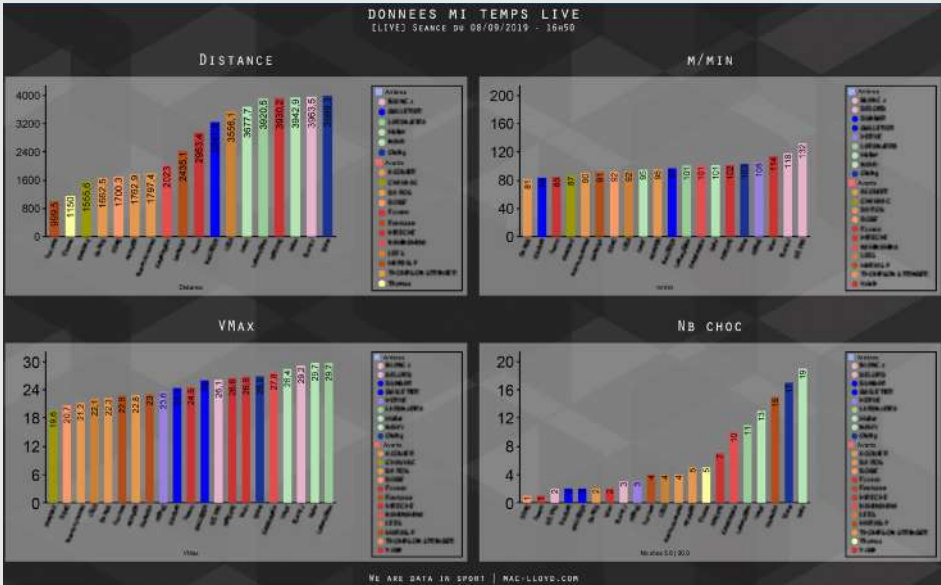


Figure 2 – Exemple de rapport à la suite d’un match de Top 14, avec un enregistrement « ball-in-play ». Source : Mac-Lloyd sport.

“ ... l’une des priorités consiste à définir les variables les plus pertinentes pour déterminer les contraintes physiques imposées au sportif durant sa pratique. ”

Une infinité de variables pour un meilleur suivi de charge

Une fois les repères d’intensité définis en fonction des données de match, il est possible de s’assurer de niveaux d’intensité et de sollicitation suffisants lors des entraînements comportant des séquences de jeu analogues aux matchs (Fig. 3). En effet, la plupart des marques de GPS proposent la possibilité d’accéder à ces données en temps réel. En se basant sur la distance relative lors des séquences de jeu durant les entraînements, les staffs s’assurent que l’intensité des déplacements ▶

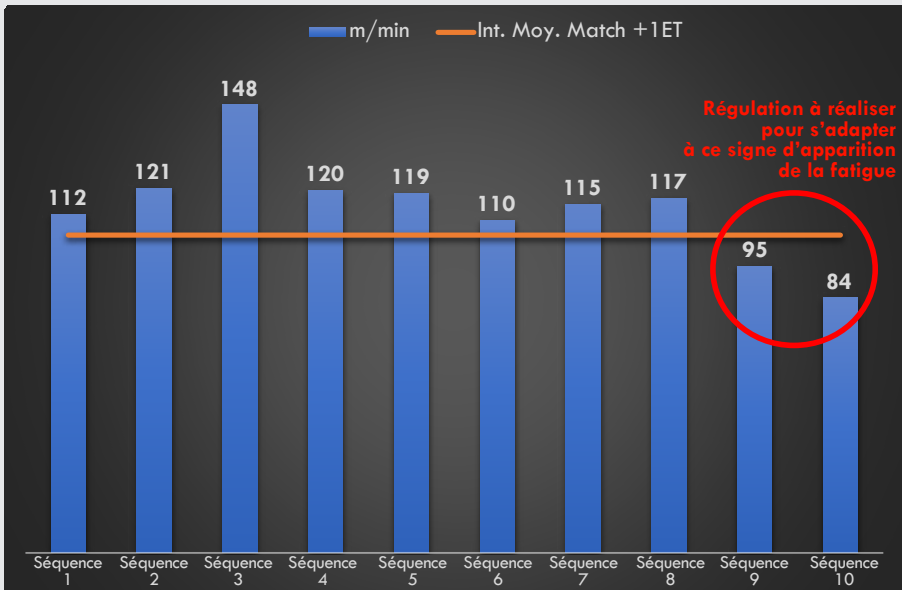


Figure 3 – Exemple de régulation de l'intensité d'entraînement par rapport aux valeurs moyennes (+ écart-type [ET]) relevées en match.

demeure supérieure à celle des matchs, pour compenser l'intensité moindre des phases de collisions et de *ruck* durant les entraînements (sans contact).

Ici, les séquences étaient comprises entre 45 s et 2 min et l'entraînement avait lieu en fin de saison. Pour s'adapter à un potentiel signe de fatigue (séquence 9), le staff a décidé d'augmenter le temps de récupération entre deux séquences, mais face à la diminution de l'activité persistante durant la 10^e séquence, l'entraînement a été légèrement écourté.

Néanmoins, l'apport de cette technologie ne se limite pas à s'assurer de

l'intensité de l'entraînement. Comme mentionné précédemment, elle renseigne la charge de travail externe lors de celui-ci. Devant la multitude de variables proposées par les différents systèmes GPS/GNSS, l'une des priorités consiste à définir les variables les plus pertinentes pour déterminer les contraintes physiques imposées au sportif durant sa pratique. Weaving *et al.* (2018) démontrent que l'utilisation d'une variable de volume d'entraînement (distance totale ou « PlayerLoad^{®2} ») combinée à la distance de course à vitesse élevée ►

2–Somme des valeurs absolues des accélérations mesurées par les capteurs inertiels sur les 3 axes (horizontal, vertical et latéral).

permet de définir relativement précisément la charge d'entraînement en rugby. Par ailleurs, les distances de sprint (soit au-delà d'un seuil générique, ou un seuil relatif à la vitesse maximale du joueur) semblent également pertinentes à utiliser pour caractériser le stress mécanique imposé aux joueurs durant leur pratique. Pour tenter de définir la charge de travail à partir des données GPS, les *sports scientists* se sont appuyés sur les travaux définissant la charge d'entraînement comme la combinaison du volume et de l'intensité. Les différentes variables sont catégorisées de la même façon (Tab. 1). Les variables de volume sont la distance totale parcourue et la durée d'entraînement, tandis que les variables de l'intensité sont davantage soumises à discussion. On y retrouve, entre autres, la distance relative (exprimée

en $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$), la distance parcourue à des vitesses élevées et la distance de sprint. Initialement, les distances de course à haute intensité étaient définies à partir de seuils d'intensité génériques ($14,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Depuis, Reardon *et al.* (2015) ont démontré l'intérêt d'utiliser des seuils individuels en rapport avec des valeurs physiologiques de référence (vitesse maximale aérobie [VMA], vitesse à $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, vitesse maximale [V_{max}]) pour qualifier ce type d'effort. Ainsi, deux méthodes d'évaluation individualisée pour caractériser les efforts de course à haute intensité se dégagent :

- les efforts avec une vitesse supérieure à la VMA ;
- les efforts à un certain pourcentage de la V_{max} (course à haute intensité $> 70\%$ et sprint $> 85\%$ de la V_{max}). ▶



Une autre méthode, elle, propose de considérer la vitesse de déplacement, mais également l'intensité des accélérations/décélérations : l'approche de la puissance métabolique (di Prampero *et al.* 2005).

Dubois *et al.* (2017) ont montré que cette approche répertorie davantage d'efforts de course comme intensifs comparativement et semble être particulièrement intéressante pour les avants qui ont une activité basée plus sur les accélérations/décélérations que sur des courses longues comme les arrières. Cette approche présente également l'intérêt de réduire à une seule variable la synthèse de plusieurs paramètres (vitesse de déplacement et intensité des accélérations/décélérations), répondant ainsi à cette limite que constituait l'influence de l'espace de jeu sur les données de déplacements. En effet, lors de jeux en espace réduit, les exigences physiques liées à la course sont difficiles à analyser à travers les données GPS traditionnelles (Dubois *et al.* 2017) car la distance parcourue demeure relativement faible, tout comme les vitesses de déplacement, même si accélérations et changements de direction engendrent une demande métabolique et mécanique importante. En ce sens, une nouvelle méthodologie fait son chemin, celle du « travail mécanique » (Buchheit, 2019). Celle-ci correspond à la somme des changements de direction, des

accélérations ($> 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) et des décélérations ($< -2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Elle permet notamment de considérer la demande musculaire durant des jeux et situations dans des espaces réduits, là où l'analyse *via* les variables « traditionnelles » montrait des limites.

“ ... la technologie GPS/GNSS ne renseigne rien d'autre que les déplacements effectués. ”

Ces limites de précision de l'outil ne sont pas les seules. Alors que certains acteurs du monde sportif le soutiennent, la technologie GPS/GNSS ne renseigne rien d'autre que les déplacements effectués. Ainsi, il est impossible à travers ces simples données de quantifier pleinement le stress physiologique induit par la pratique et imposé aux joueurs. En ce sens, Dubois *et al.* (2017) montrent que moins de 50% de la demande physique basée sur la fréquence cardiaque peut être expliquée par les données GPS lors de matchs de rugby à XV. La même année, Highton *et al.* (2017) confirment ces résultats, ►

établissant une sous-estimation d'environ 40% de la dépense énergétique réelle *via* les données récoltées. Données, par ailleurs, grandement influencées par le contexte de la mesure. Ainsi, le niveau d'opposition, les conditions atmosphériques, la stratégie sont autant d'éléments qui influent sur l'activité de course durant un match de rugby (Kempton et Coutts, 2016). L'influence du contexte rend ainsi l'analyse de la performance physique et les comparaisons intra et inter-individuelles complexes.

Vigilance à J-2 du match

Nous l'aurons compris, le GPS est un outil de mesure d'une grande aide à l'heure d'analyser le travail produit et de planifier des séances. Or, en sport collectif, une des difficultés réside dans la gestion de la charge d'entraînement durant la période compétitive, car deux problématiques s'affrontent à ce moment-là. D'un côté, la nécessité de prévenir la fatigue engendrée par l'enchaînement des matchs et la longueur des championnats nationaux afin d'éviter des réponses adaptatives non fonctionnelles (fatigue chronique, blessure, contre-performance...). De l'autre, la volonté de maintenir une activité suffisante pour éviter un niveau trop faible de sollicitation et un accroissement du risque de blessure

(Gabbett, 2016). Dans cette optique, l'utilisation des GPS peut ainsi aider à contrôler la charge de travail par rapport à cette programmation (Fig. 4 et Tab. 2).

“ ... prévenir la fatigue engendrée par l'enchaînement des matchs et la longueur des championnats nationaux...”

Lundi	Dominante physique →	Aérobic ←
Variables GPS	Distance totale et distance relative	
Exemples de valeurs seuils	Distance totale comprise entre 3 500 et 4 500 m	
	Distance relative comprise entre 65 et 80 m·min ⁻¹	
Remarques: entraînement de faible intensité, sans course à haute intensité et sans contact.		

Mardi	Dominante physique →	Lactique ←
Variables GPS	Distance course à haute intensité et distance relative	
Exemples de valeurs seuils	% course à haute intensité > 15 % de la distance totale	
	Distance relative > 105 m·min ⁻¹ durant les séquences de type match	
Remarques: entraînement de haute intensité avec un niveau de sollicitation élevé (si possible supérieur à la demande de course du match) pouvant inclure des contacts.		



Figure 4 – Exemple de l'évolution de certains paramètres de la charge de travail externe tout au long d'une semaine. Source : Mac-Lloyd sport.

Mercredi

Récupération ←

Jeudi

Dominante physique → Musculaire ←

Variables GPS
Distance sprint
Vitesse max
Distance totale

Exemples de valeurs seuils
Distance totale < 4 000 m
Distance sprint comprise entre 150 et 300 m

Remarques: entraînement avec des courses de haute intensité, proche de la vitesse max du match avec un temps de récupération suffisant.

Vendredi

Dominante physique → Optimisation ←

Variables GPS	Distance totale
Exemple de valeurs seuils	< 2 500 m

Remarques: l'intensité dépendra des convictions des staffs. Celle-ci pourra être élevée ou faible tandis que le volume restera dans tous les cas faible.

Samedi

Match ←

Dimanche

Récupération ←

Tableau 2 – Exemple de semaine d'entraînement envisageable dans un club de rugby professionnel, avec les variables GPS permettant de s'assurer du respect de la programmation de l'entraînement. Les valeurs données ici le sont en guise d'exemple, elles n'ont pas valeur de références indiscutables.

Cet exemple de programmation hebdomadaire est censé répondre aux besoins de sollicitations et doit également permettre d'optimiser les qualités physiques en réduisant le volume d'entraînement en fin de semaine, tout en conservant (voire en augmentant) l'intensité, notamment lors des sessions situées à J-2 du match (Tab. 2 et Fig. 4). On peut, entre autres, constater l'évolution contraire du paramètre du volume d'entraînement (distance totale) et de l'intensité d'entraînement (mètres par minute).

Risques de blessure élevés en cas de travail chronique faible

La programmation est d'autant plus pertinente qu'elle va s'appuyer sur une évaluation objective de la charge de travail externe tout au long de la semaine, du bloc de compétition et de la saison. Ainsi, en équipant chacun des joueurs de l'effectif, il est possible de réaliser un suivi continu de cette charge et de son évolution sur la durée (Fig. 5). Les données GPS peuvent ainsi être intégrées et analysées à travers les concepts de charges aiguë et chronique. La première correspond à la charge de travail cumulée à court terme : généralement le cumul de charge des 3 à 10 derniers jours. Au contraire, la charge de travail chronique reflète les sollicitations imposées sur le sportif lors des 21 à 42 jours

précédents (Gabbett, 2016). Ainsi, des études ont démontré l'importance de soumettre les joueurs à moyen terme (en lien à la composante chronique) à une charge de travail suffisante dans le but de réduire le risque de blessure (Hulin *et al.* 2015 ; Malone *et al.* 2017). L'équipe menée par le chercheur irlandais Shane Malone (Malone *et al.* 2017) a notamment démontré que les risques de blessure étaient significativement supérieurs chez des joueurs présentant des distances chroniques (moyenne mobile sur les 21 jours précédents) parcourues à haute intensité et en sprint trop faibles (ex : < 674 m et < 165 m, respectivement). Si on suppose qu'une charge aiguë trop importante est source de risque, un débat demeure (Gabbett, 2016 ; Dubois *et al.* 2018).



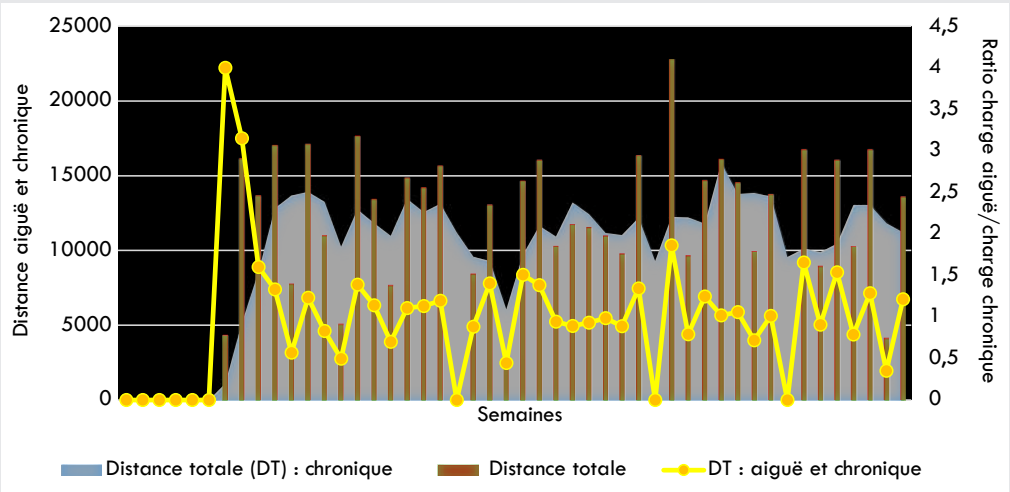


Figure 5 – Exemple d'un suivi longitudinal d'un joueur à travers une variable GPS : distance totale (DT). Cette variable est déclinée en composante aiguë (valeur d'une semaine) et chronique (moyenne mobile des 4 dernières semaines), permettant de définir le ratio charge aiguë/charge chronique. Ce type de suivi est déclinable pour les différentes variables GPS (distance de sprint, distance de course à haute intensité, nombre de chocs sévères...). Source : Mac-Lloyd sport.



“ Si on suppose qu'une charge aiguë trop importante est source de risque, un débat demeure. ”

“ ... minimiser les risques liés à une sollicitation trop importante à moyen ou long terme. ”

Le GPS, un outil pour réfléchir, pas prédire

À la vue de l'influence positive d'une charge chronique élevée et de l'influence négative d'une charge de travail aiguë trop importante, le ratio entre charges aiguë et chronique (ratio A/C) apparaît comme un marqueur pertinent de prédiction des blessures (Hulin *et al.* 2015 ; Blanch et Gabbett, 2015 ; Gabbett, 2016). Ce ratio est obtenu par un calcul de moyenne mobile (décalage dans le temps jour après jour). Le ratio le plus couramment utilisé est la moyenne des 7 jours précédents (composante aiguë) divisée par la moyenne des 28 jours précédents (composante chronique). Il a d'ailleurs fait ses preuves dans différents sports collectifs comme le rugby à XIII (Hulin *et al.* 2015 ; Murray *et al.* 2017 ; Malone *et al.* 2017).

Par conséquent, il fait sens de réaliser un suivi de la charge de travail du

passé récent. Comme tous les logiciels GPS ne permettent pas de réaliser ce type de suivi, il est possible d'exporter les rapports GPS dans d'autres plateformes, et ainsi d'avoir un suivi individualisé de différents paramètres de charge de travail (Tab.3). Dans ce tableau, il est possible d'analyser les données de la façon suivante :

le joueur2 présente des données d'accélération et de course à haute intensité plus faibles par rapport à ce qu'il avait l'habitude de faire lors des quatre semaines précédentes (charge chronique). Il existe alors deux possibilités : soit cette donnée correspond à une stratégie de programmation, soit à une sous-sollicitation non souhaitée. Le premier cas peut correspondre à une diminution ponctuelle de la charge pour faire face à une accumulation de fatigue lors des semaines précédentes. Ainsi, un faible ratio ne constitue pas un danger en soi et permet, au contraire, de minimiser les risques liés à une sollicitation trop importante à moyen ou long terme. Dans le second cas, ce ratio peut indiquer un manque de stress physique « anormal ». En réponse, il peut être intéressant de programmer un temps de travail de vitesse pour ce joueur, en complément du travail collectif. Un cas analogue peut être également identifié pour **le joueur6**. En ce qui concerne **le joueur5**, ce dernier présente des valeurs de course à haute et très haute intensité largement supérieures comparativement au stress ▶

Risque faible

Sous-entraîné

Risque moyen

Risque élevé

	Difficulté de la séance [sRPE] (unité : UA)	Distance Totale [DT] (unité : m)	Accélérations [> 2,5 m·s ⁻²] (unité : n)	Course à haute intensité [> 20 km·h ⁻¹] (unité : m)	Course à très haute intensité [≥ 25 km·h ⁻¹] (unité : m)
	Ratio A/C (charge aiguë 7 jours)	Ratio A/C (charge aiguë 7 jours)	Ratio A/C (charge aiguë 7 jours)	Ratio A/C (charge aiguë 7 jours)	Ratio A/C (charge aiguë 7 jours)
Joueur 1	1,27 (2 871)	1,25 (26 018)	1,33 (92)	1,24 (2 286)	1,13 (293)
Joueur 2	1 (2 221)	0,95 (15 131)	0,71 (62)	0,67 (505)	0,70 (61)
Joueur 3	1,33 (2 103)	1,41 (25 361)	1,40 (81)	1,36 (2 122)	1,37 (270)
Joueur 4	1,41 (2 237)	1,36 (21 735)	1,70 (116)	1,18 (1 145)	1,23 (372)
Joueur 5	1,19 (2 857)	1,29 (28 468)	1,37 (95)	1,74 (504)	1,81 (201)
Joueur 6	0,87 (1 807)	0,90 (22 269)	0,97 (92)	1,12 (2 992)	0,79 (130)
Joueur 7	1,22 (2 257)	1,38 (24 688)	1,45 (74)	0,96 (2 091)	1,29 (285)
Joueur 8	0,97 (2 285)	1,22 (21 213)	1,15 (68)	1,13 (907)	1,16 (201)
Joueur 9	0,89 (2 089)	0,93 (24 766)	1,04 (83)	1,25 (1 535)	0,89 (052)

Exemple de lecture : le joueur 1 présente, en ce qui concerne le nombre d'accélération, un ratio charges aiguë/chronique de 1,33 avec une charge aiguë de 92 accélérations au total durant les 7 jours précédents. En ce qui concerne les courses à haute intensité (> 20 km·h⁻¹), ce même joueur présente un ratio de 1,24 pour une charge aiguë de 2 286 m parcourus au-delà du seuil de vitesse fixé.

Tableau 3 – Exemple de suivi individualisé des données GPS *via* un logiciel de monitoring. Ici, sont présentés les ratios charge aiguë/charge chronique (ratio A/C) pour les paramètres de distance totale, accélérations, de course à haute intensité (> 19,8 km·h⁻¹) et très haute intensité (> 25 km·h⁻¹). Les données présentées dans la ligne supérieure de chaque cellule correspondent au ratio charges aiguë/chronique, tandis que la valeur située dans la partie inférieure correspond à la valeur de charge aiguë (somme des 7 jours précédents pour la variable considérée). Source : athletemonitoring.

mécanique auquel il a été habituellement soumis lors des quatre dernières semaines. Ces indicateurs incitent alors le staff à adapter la charge de travail du joueur sur les jours à venir, et à accentuer les processus et procédés de récupération (massage, cryothérapie...).



Dans le cas du **joueur 7**, ce dernier présente des ratios A/C élevés pour les variables de volume d'entraînement (distance totale) et d'accélérations. Néanmoins, ses valeurs de charge aiguë sont dans la moyenne du groupe. Ce type de profil est souvent rencontré suite à une blessure, lors du retour à l'entraînement complet, sans que cet indicateur témoigne d'un risque trop important. ▶

Ces exemples mettent en avant l'importance de la contextualisation des données et de l'interprétation « humaine » qui en découle. De ce point de vue-là, la technologie et les modèles statistiques actuels ne sont que des supports et des aides à la décision et ne peuvent être présentés comme intangibles. Ainsi, malgré les différentes études mettant en avant ce modèle, le caractère prédictif doit être remis en question. En conclusion, il semble que ce modèle devrait davantage être utilisé comme un outil de réflexion plutôt que comme un modèle prédictif.

Un indicateur précieux pour la réathlétisation

Malgré toutes les précautions prises en réalisant le plus précisément possible le suivi de la charge d'entraînement, le rugby restant un sport de combat, la blessure peut malgré tout survenir. Après les premiers traitements thérapeutiques vient la phase de la réathlétisation, où l'objectif est de préparer progressivement l'organisme à encaisser de nouveau les contraintes physiques de l'entraînement et de la compétition. Dans ce cas, l'apport des GPS peut s'avérer précieux, notamment pour une lésion survenue au niveau des membres inférieurs. Cette technologie va offrir la possibilité d'un suivi assez complet du volume et de l'intensité de l'entraînement dédié à la

course, et ainsi de s'assurer de la progressivité du processus de réentraînement (Fig. 6). Les staffs sportif et médical devront s'assurer que le sportif, lors de sa reprise, pourra être en mesure de supporter la même charge de travail hebdomadaire que ses partenaires et de répondre aux exigences propres à la compétition. En ce sens, le modèle des ratios charge aiguë/charge chronique, même s'il est actuellement discuté par quelques études, dessine un cadre de travail qui aide les personnes en charge de la réathlétisation dans les clubs de sports collectifs professionnels.

Concernant le suivi de l'état de forme des joueurs, cette technologie ne renseigne « que » l'activité des joueurs à travers une évaluation externe de la charge de travail, ce qui paraît insuffisant dans une logique professionnelle. Cependant, une évolution significative et anormale de l'activité externe peut témoigner d'un problème d'adaptation d'un joueur face à la charge qui lui est soumise, et ainsi alerter le staff. Pour cela, l'utilisation de Z-score³ permet de créer un repère pouvant mettre en garde quant à une baisse d'un paramètre de la charge externe, ou au contraire une sollicitation supérieure à la normale. Ce procédé affine ainsi un suivi à long terme à l'échelle d'une saison, dépassant la composante chronique (dont le suivi se fait seulement à moyen terme). ▶

3- $(\text{valeur ponctuelle} - \text{valeur moyenne}) / \text{écart-type de l'ensemble des valeurs du joueur}$

	Distance totale (m)	Course à haute intensité (>16 km/h)	Course à très haute intensité (>20 km/h)	V _{max} (km/h)
S1	0	0	0	0
S2	0	0	0	0
S3	2 250	0	0	10,5
S4	3 450	0	0	12,4
S5	5 250	0	0	14,8
S6	7 269	250	0	18,2
S7	10 233	433	88	22,4
S8	13 287	650	201	27,8
S9	15 227	714	137	28,1

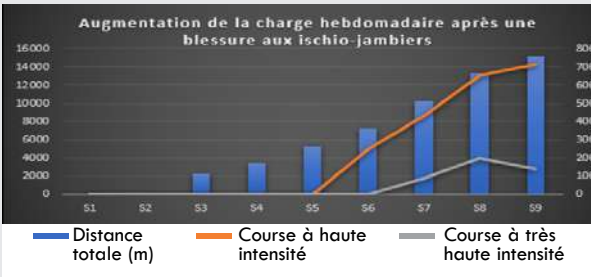


Figure 6—Exemple de données GPS (données hebdomadaires) à la suite d'une blessure aux ischio-jambiers. Blessure lors d'un match en semaine 0 (S0), le joueur a repris la compétition en S9 en étant remplaçant. Source : Mac-Lloyd sport.

Données GPS + réponses corporelles + ressenti, la bonne formule ?

Si un suivi est possible, seule, cette technologie ne permet pas d'évaluer l'état de forme des sportifs. En revanche, combinée à des marqueurs internes, à travers une approche multifactorielle, elle pourrait servir à modéliser l'état de forme des sportifs. En effet, en corrélant demande externe (données GPS) et réponses internes (fréquence cardiaque [Fig. 7 et 8], difficulté perçue) de l'organisme, il semble possible de créer un modèle permettant d'examiner l'état de forme des joueurs (Lacome *et al.* 2018). Ainsi, sur des situations relativement calibrées ►

“ ... il semble possible de créer un modèle permettant d'examiner l'état de forme des joueurs. ”



Figure 7—T-shirt connecté permettant l'enregistrement de la fréquence cardiaque et la synchronisation de ces données aux enregistrements GPS/GNSS. Source : Mac-Lloyd sport.

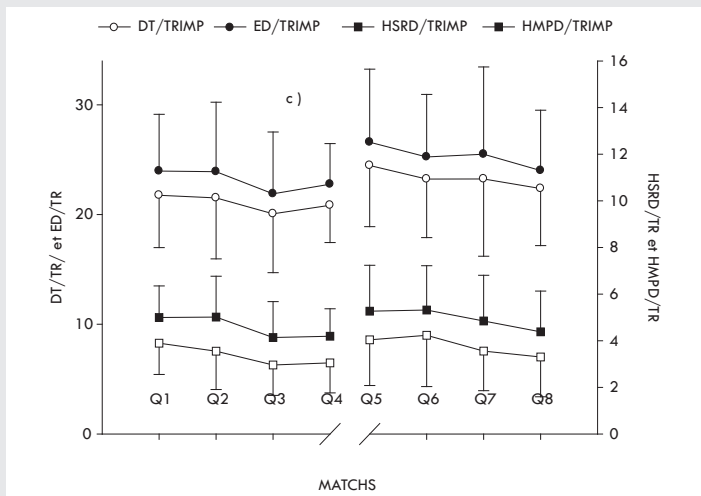


Figure 8—Exemple d'intégration des données de fréquence cardiaque aux données de déplacement (GPS) en fonction des périodes du match (Q1 à Q8 représentent 8 périodes de 10 min de match).

Les données de déplacement présentées ici regroupent des données « traditionnelles » (distance totale [DT] et distance à vitesse élevée ou « *high-speed running distance* » [HSRD]) et celles de l'approche métabolique (équivalent distance [ED] et la distance à haute intensité de puissance métabolique ou « *high-intensity metabolic power distance* » [HMPD]). La charge de travail interne était quantifiée à partir de la fréquence cardiaque permettant le calcul des *training impulses* (TRIMPS). Voir l'étude de Dubois *et al.* 2017. Ces données ont été obtenues lors d'un match de rugby professionnel et avaient pour but d'observer l'évolution de la fatigue durant un match.

(échauffement, jeux réduits...), un niveau d'activité plus faible ou une augmentation de la fréquence cardiaque pour un même niveau d'activité témoigne d'une diminution de l'état de forme. Tandis qu'une augmentation de l'activité ou une diminution de la fréquence cardiaque pour une activité comparable semble être le propre d'un joueur en capacité de performer. À noter que cette évolution de relation entre charge externe (GPS) et charge interne (FC) peut être inversée dans des situations de surmenage pour les efforts infra-maximaux.

De même, une augmentation de la perception de la difficulté pour des séances possédant des niveaux d'activité comparables peut témoigner d'une lassitude physique. Pour cela, les régressions linéaires explicatives de la perception de la difficulté à partir de plusieurs variables GPS (Lovell *et al.* 2013), individualisées pour chacun des joueurs, peuvent également offrir un modèle d'analyse de l'évolution de l'état de forme/fatigue des joueurs (Fig. 9). Les valeurs éloignées de la prédiction du modèle représentent des états anormaux qu'ils soient positifs (état de forme ponctuel) ou négatifs (fatigue/désentraînement). ▶

Corrélation entre modèle théorique à la charge interne réelle (S-RPE)

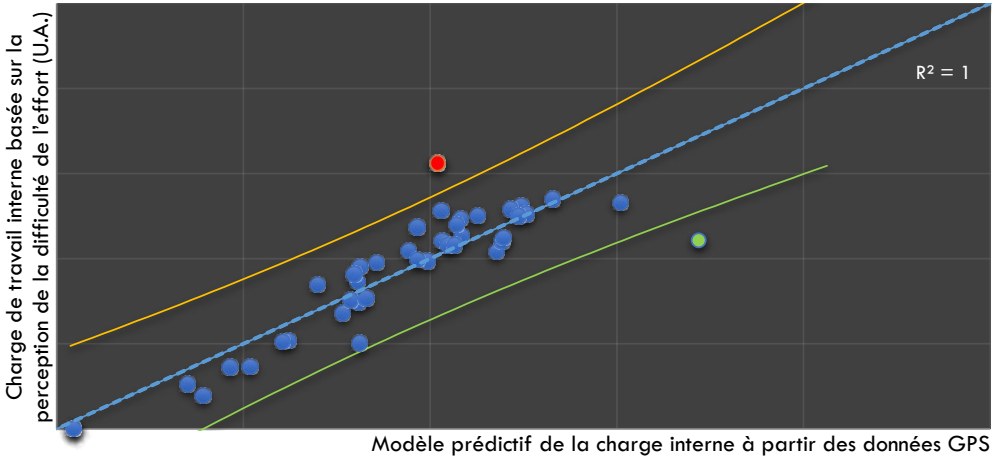


Figure 9—Exemple de régression linéaire individualisée (1 joueur) : un modèle mathématique prédit, à partir de différentes variables GPS, la charge de travail basée sur la perception de l'effort (S-RPE). En vert, un niveau d'acceptation de la charge de travail « anormalement » faible pouvant correspondre à un état de forme. Tandis que le point rouge témoigne d'une éventuelle difficulté à faire face à la charge externe. Inspiré des travaux de Lovell *et al.* (2013) et de Lacome *et al.* (2018). Source : Mac-Lloyd sport.

Conclusion

Cette technologie GPS/GNSS offre un accès très rapide, voire en direct, à de nombreuses données objectives censées représenter l'activité physique des joueurs en compétition ou à l'entraînement. Il faut alors sélectionner les données les plus judicieuses pour représenter la charge de travail externe à laquelle les sportifs sont soumis. L'activité en compétition devient alors la référence à laquelle le sportif doit se préparer et sert de repère en vue d'une préparation spécifique.

Au-delà de cette matérialisation de la charge, l'apport de cette technologie se révèle précieux dans son contrôle tant au niveau du travail de l'équipe que du joueur en phase de réathlétisation, à court, moyen ou long terme. En intégrant ces données de charge externe à des variables représentant les réponses internes, l'appareillage peut contribuer à un suivi de l'état de forme des sportifs et, ainsi, favoriser la réduction du risque de blessure. Cette approche doit cependant être multifactorielle et réalisée à l'aide de bases de données individuelles pour être pertinente.

Même si cette technologie a apporté une plus-value notable dans la régulation et l'optimisation de la charge de travail en sport collectif, cette dernière ne peut à elle seule représenter les contraintes physiologiques imposées aux joueurs de sports collectifs. En effet, ces données sont très largement dépendantes de variables contextuelles (météo, adversaire, % possession, espace de jeu...) et un certain recul est indispensable afin de les comprendre et de les interpréter. Néanmoins, ces dernières sont une des clés pour une meilleure compréhension des contraintes physiologiques des sportifs lors de leur pratique. En outre, le plus important est d'appréhender le concept de dose-réponse entre la charge et les adaptations qui en résultent. Il faut donc encourager les staffs sportifs à adopter une approche globale multifactorielle permettant de mieux saisir les sollicitations et la façon dont le sportif y fait face. En dernier lieu, l'évolution en matière de technologie de suivi du sportif est en pleine expansion. Ainsi, il est fort probable que les données GPS/GNSS soient complétées par des données internes, comme cela commence à être le cas pour la fréquence cardiaque, la lactatémie, la sudation... La compréhension du fonctionnement du corps au plus haut niveau n'en est qu'à ses balbutiements et de nombreuses avancées sont à venir. En attendant, et n'en déplaise aux esthètes, les « bossus » du sport ont de beaux jours devant eux. ■

Bibliographie

AKENHEAD R et NASSIS GP, « Training load and player monitoring in high-level football: current practice and perceptions », *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2016, 11(5), p. 587-593, doi:10.1123/ijspp.2015-0331.

AUGHEY RJ, « Applications of GPS technologies to field sports », *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2011, 6(3), p. 295-310, doi:10.1123/ijspp.6.3.295.

BLANCH P et GABBETT TJ, « 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*, 2015, 50(8), p. 471-475, doi:10.1136/bjsports-2015-095445.

BUCHHEIT M, « Programming high-speed running and mechanical work in relation to technical contents and match schedule in professional soccer », *Sport Performance & Sciences Reports*, 2019, 64(1).

CHAMBERS RM, GABBETT TJ et COLE MH, « Validity Validity of a microsensor-based algorithm for detecting scrum events in Rugby Union », *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2019, 14(2), p. 176-182, doi:10.1123/ijspp.2018.0222.

COUTTS AJ et DUFFIELD R, « Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports », *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2010, 13(1), p. 133-135, doi:10.1016/j.jsams.2008.09.015.

DI PRAMPERO PE, FUSI S, SEPULCRIL L, MORIN JB, BELLIA A et ANTONUTTO G, « Sprint running: a new energetic approach », *Journal of Experimental Biology*, 2005, 208(14), p. 2809-2816, doi:10.1242/jeb.01700.

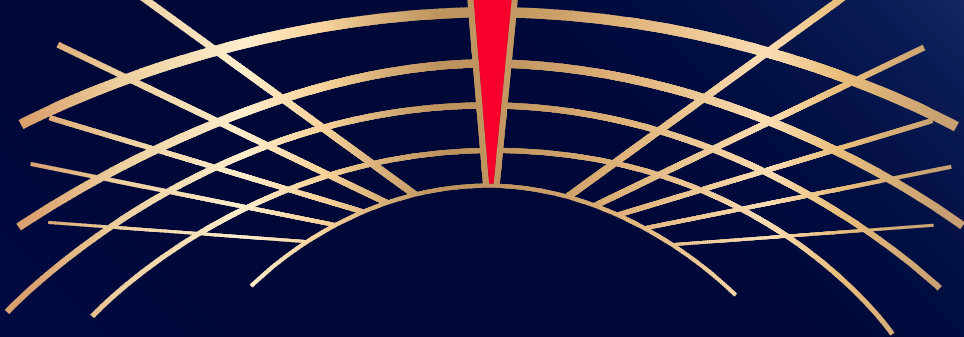
DUBOIS R, LYONS M, PAILLARD T, MAURELLIO et PRIOUX J, « Influence of weekly workload on physical, biochemical and psychological characteristics in professional rugby union players over a competitive season », *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2018, doi:10.1519/JSC.0000000000002741.

DUBOIS R, PAILLARD T, LYONS M, MCGRATH D, MAURELLIO et PRIOUX J, « Running and metabolic demands of elite rugby union assessed using traditional, metabolic power, and heart rate monitoring methods », *Journal of Sports Science & Medicine*, 2017, 16(1), p. 84-92.

GABBETT TJ, « The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? », *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 50(5), p. 273-280, doi:10.1136/bjsports-2015-095788.

GABBETT TJ, « Quantifying the physical demands of collision sports: does microsensor technology measure what it claims to measure? », *The Journal of Strength*

- & *Conditioning Research*, 2013, 27(8), p.2319-2322, doi:10.1519/JSC.0b013e318277fd21.
- HIGHTONJ, MULLENT, NORRISJ, OXENDALEC et TWISTC, «The unsuitability of energy expenditure derived from microtechnology for assessing internal load in collision-based activities», *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(2), p.264-267, doi:10.1123/ijspp.2016-0069.
- HULINBT, GABBETTJ, LAWSONDW, CAPUTIP et SAMPSONJA, «The acute: chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players», *British Journal of Sports Medicine*, 2015, 50(4), p.231-236, doi:10.1136/bjsports-2015-094817.
- JENNINGS D, CORMACKS, COUTTSAJ, BOYDL et AUGHEYRJ, «The validity and reliability of GPS units for measuring distance in team sport specific running patterns», *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2010, 5(3), p. 328-341.
- JOHNSTONRJ, WATSFORDML, PINEMJ, SPURRSRW et SPORRID, «Assessment of 5 Hz and 10 Hz GPS units for measuring athlete movement demands», *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2013, 13(1), p. 262-274, doi:10.1080/24748668.2013.11868646.
- KEMPTON T et COUTTSAJ, «Factors affecting exercise intensity in professional rugby league match-play», *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2016, 19(6), p.504-508, doi:10.1016/j.jsams.2015.06.008.
- LACOMEM, SIMPSONB, BROADN et BUCHHEITM, «Monitoring players' readiness using predicted heart rate responses to football drills», *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018, 13(10), p. 1-25, doi: 10.1123/ijspp.2018-0026.
- LOVELL TW, SIROTICAC, IMPELLIZZERIFM et COUTTSAJ, «Factors affecting perception of effort (session rating of perceived exertion) during rugby league training», *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2013, 8(1), p.62-69, doi:10.1123/ijspp.8.1.62.
- MALONES, OWENA, NEWTON M, MENDES B, COLLINS KD et GABBETTJ, «The acute: chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer», *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2017, 20(6), p.561-565, doi:10.1016/j.jsams.2016.10.014.
- MCLELLAN CP, LOVELL DI et GASS GC, «Creatine kinase and endocrine responses of elite players pre, during, and post rugby league match play», *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2010, 24(11), p.2908-2919, doi:10.1519/JSC.0b013e3181c1fcb1.
- MURRAYNB, GABBETTJ, TOWNSHENDAD et BLANCHP, «Calculating acute: chronic workload ratios using exponentially weighted moving averages provides a more sensitive indicator of injury likelihood than rolling averages», *British Journal of Sports Medicine*, 2017, 51(9), 749-754, doi:10.1136/bjsports-2016-097152.
- REARDONC, TOBINDP, TIERNEY P et DELAHUNTE, «The worse case scenario: Locomotor and collision demands of the longest periods of gameplay in professional rugby union», *PLoS ONE*, 2017, 12(5), doi: 10.1371/journal.pone.0177072.
- REARDON C, TOBIN DP et DELAHUNTE, «Application of individualized speed thresholds to interpret position specific running demands in elite professional rugby union: a GPS study», *PLoS ONE*, 2015, 10(7), e0133410.87-593, doi:10.1371/journal.pone.0133410.
- ROE G, DARRALL-JONES J, BLACK C, SHAW W, TILL K et JONES B, «Validity of 10-Hz GPS and timing gates for assessing maximum velocity in professional rugby union players», *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(6), p.836-839, doi: 10.1123/ijspp.2016-0256.
- SOLIGARD T, SCWELLNUS M, ALONSO JM, BAHR R, CLARSEN B, DIJKSTRAHP, GABBETTJ, GLEESON M, HÄGGLUND M, HUTCHINSON MR, JANSEVAN RENSBURG C, KHAN KM, MEEUSEN R, ORCHARD JW, PLUIM BM, RAFTERY M, BUDGETT R et ENGBRETSEN L, «How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury», *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 50(17), p.1030-1041, doi: 10.1136/bjsports-2016-096581.
- VARLEY MC, FAIRWEATHER IH et AUGHEY RJ, «Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion», *Journal of Sports Sciences*, 2012, 30(2), p. 121-127, doi:10.1080/02640414.2011.627941.
- VICKERY WM, DASCOMBE BJ, BAKER JD, HIGHAM DG, SPRATFORD WA et DUFFIELD R, «Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of sports-specific movement patterns related to cricket, tennis, and field-based team sports», *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2014, 28(6), p.1697-1705, doi:10.1519/JSC.0000000000000285.
- WALDRON M, WORSFOLD P, TWIST C et LAMB K, «Concurrent validity and test-retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables», *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29(15), p. 1613-1619, doi:10.1080/02640414.2011.608703.
- WEAVING D, DALTON NE, BLACK C, DARRALL-JONES J, PHIBBS PJ, GRAY M, JONES B et ROE GAB, «The same story or a unique novel? Within-participant principle component analysis of training load measures in professional rugby union skills training», *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018, 13(9), p. 1-21, doi:10.1123/ijspp.2017-0565.



**INSTITUT NATIONAL DU SPORT,
DE L'EXPERTISE ET DE LA PERFORMANCE**

11, avenue du Tremblay - 75012 Paris - France

Tél. 01 41 74 41 00

www.insep.fr

