



Réflexionsport

Numéro spécial

32

Novembre
2024

TEAM Sports : la dimension mentale en sports collectifs

page 6



Dans ce numéro spécial :

Le projet FULGUR Individualisation de l'entraînement et de la prévention en sprint, p. 24 **Hypoxie et Performance 2024** Un projet émergeant de « questions de terrain » pour améliorer le soutien scientifique dans le champ du stress environnemental, p. 40 **Neptun** un projet scientifique interdisciplinaire au service de la performance en natation et para-natation, p. 52 **Le projet D-day** atteindre son pic de performance lors des Jeux olympiques, p. 64 **TrainYourBrain** un programme de préparation mentale pour optimiser la lucidité et l'engagement en match, p. 82 **REVEA** vers une nouvelle génération d'outils d'entraînement virtuel dans le sport de haut niveau, p. 94

Rédaction

Réflexions Sport

INSEP – 11, avenue du
Tremblay
75012 Paris

<http://www.insep.fr>



- Renseignements :
reflexions.sport@insep.fr
- Directeur de la publication :
Fabien Canu
- Comité d'édition :
Franck Brocherie
Stéphane Couckuyt
Bertrand Daille
Serge Guémard
Gaël Guilhem
Sébastien Le Garrec
Véronique Leseur
Adrien Marck
Jean-François Robin
Patrick Roult
Howard Vazquez
Laure Veyrier
- Responsable éditoriale :
Christine Boutin
- Chargé de projets
réductionnels :
François-Xavier Mas
- Graphiste-maquettiste :
Myriam Bierry
- Plateforme de diffusion
numérique :
Calaméo®

- Crédits photos :
Couverture : ©Iconsport
Intérieur : ©Iconsport – ©Istockphoto –
©Viarprodesign/Freepik – ©Franck Fife/
AFP



TEAM Sports :
la dimension mentale
en sports collectifs 6



Individualisation
de l'entraînement
et de la prévention
en sprint :
le projet FULGUR 24



Hypoxie
et Performance 2024 40
*Un projet émergent
de « questions de terrain »
pour améliorer le soutien
scientifique dans le champ
du stress environnemental*



Neptune,
un projet scientifique
interdisciplinaire
au service
de la performance
en natation et para-natation 52

DERNIÈRE PARUTION

**HISTOIRE
DE L'ENTRAÎNEMENT SPORTIF**
*Pratiques et discours techniques
en France (xix^e-xxi^e siècles)*

Éric Claverie,
Jean-François Loudcher
et Serge Vaucelle (Sous la dir.)
Éditeur : INSEP-Éditions
Collection : Savoirs Sciences



64 Le projet D-day :
atteindre son pic
de performance
lors des Jeux olympiques



72 PARAPERF
*Optimisation
de la performance
paralympique :
de l'identification
à l'obtention de la médaille*



82 TrainYourBrain,
un programme
de préparation mentale
pour optimiser la lucidité
et l'engagement en match



94 REVEA :
vers une nouvelle
génération d'outils
d'entraînement virtuel
dans le sport
de haut niveau



104 FOCUS
Les productions
INSEP-Éditions

Pour recevoir
les prochains
numéros

Revue disponible en ligne :
<https://revue-rs.france.sport>
Calaméo®

Ont contribué à ce numéro :

Pierre Bagot
Marjorie Bernier
Laurent Bosquet
Franck Brocherie
Julien Brugniaux
Mickaël Campo
Rémi Carmigniani
Phillipe Connes
Guillaume Domingo
Julie Doron
Stéphane Dufour
Nicolas Forstmann
Anne-Fleur Gaston
Philippe Gimenez
Caroline Giroux
Kévin Haffner
Richard Kulpa
Grégoire P. Millet
Elie Nader
Aurélien Pichon
Robin Pla
Paul Robach
Julien Schipman
Ludovic Seifert
Bryan Le Toquin
Jean-François Toussaint
Xavier Woorons

#32 novembre 2024

La science au service des Jeux olympiques et paralympiques

Jean-François Robin

Chargé de l'animation du Réseau national d'accompagnement scientifique de la performance et de l'innovation, Pôle performance, INSEP

Adrien Marck

Chef de projet en charge de la valorisation de la recherche, Pôle Performance, INSEP

Le 13 septembre 2017, les membres du CIO élaient à l'unanimité Paris organisateur des Jeux olympiques et paralympiques d'été 2024. Trois jours plus tard, à l'INSEP, nous nous mettions en ordre de marche pour préparer ces Jeux, où nous jetions les bases de ce qui allait devenir le Réseau national d'accompagnement scientifique de la performance et de l'innovation (RNASPI).

Dans notre esprit, pour relever le défi des Jeux, il fallait faire le pari d'un rapprochement entre entraîneurs et chercheurs, au profit de la performance, ce qui restait une hypothèse il y a seulement six ans.

L'INSEP a fait le choix de faciliter cette association en déléguant deux personnes sur ce projet (Adrien Marck et Jean-François Robin). Dès janvier 2018 naissait le réseau national d'accompagnement scientifique de la performance, avec comme message principal « d'apporter des solutions scientifiques aux entraîneurs et aux athlètes pour optimiser la performance ». Si nous n'avions pas de solution scientifique ou technologique disponible, alors des recherches devenaient nécessaires.

Pour ce faire, il fallait obtenir des financements permettant cette union entre entraîneurs et chercheurs. Différentes solutions ont été trouvées, dont l'opportunité d'un financement *via* le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI), en la personne de Jean-Christophe Dantone.

Vingt millions d'euros ont été proposés, qui ont donné lieu à un appel à projets appelé « Sport de très haute performance » (STHP). Ce financement a permis l'éligibilité de douze projets, dont huit vous sont présentés dans ce numéro spécial de la revue *Réflexions Sport*.

L'objectif de ce numéro est de valoriser des solutions scientifiques et technologiques mises en œuvre par les chercheurs et les entraîneurs au regard de la performance, créant ainsi un lien vivant avec les équipes de France. Vingt-huit fédérations olympiques et paralympiques ont pu travailler avec des chercheurs pour s'approprier des avancées scientifiques qui vous sont révélées dans ce numéro spécial.

Au lendemain des Jeux olympiques et paralympiques, si nous ne sommes pas en mesure de dire avec précision quelles recherches ont permis telles médailles, nous nous réjouissons pourtant des brillants résultats des équipes de France à ces Jeux olympiques et paralympiques, qui resteront dans les mémoires. Nous croyons que la science a transformé certaines pratiques au profit de la performance.

Aujourd'hui, il est donc légitime que l'INSEP rapporte à l'ensemble de ses réseaux ces résultats scientifiques qui feront date. La suite de l'histoire doit maintenant s'écrire ; il s'agit de transférer l'ensemble de ces avancées scientifiques aux acteurs du sport, pour construire les performances de demain au-delà des seules fédérations olympiques et paralympiques. Pour cela, la revue *Réflexions sport* est pionnière pour vous permettre d'être plus près des travaux les plus récents. Sa nouvelle formule facilitera une plus large diffusion à un lectorat plus étendu.

Le pari du Réseau national d'accompagnement scientifique de la performance et de l'innovation semble relevé dans la mesure où la performance a pu profiter d'innovations scientifiques qui restent prometteuses pour demain.

TEAM Sports : la dimension mentale en sports collectifs



Mickaël Campo

Université de Bourgogne et Fédération française de rugby,
responsable du projet

Consortium du projet TEAM SPORTS

FFBB, FFF, FFHB, FFR, FFVolley, Université de Bourgogne,
Université de Rouen, CEA, INSERM, ENSAM.



Le projet TEAM SPORTS bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR STHP-0006.

Le contexte : l'avènement des sciences humaines et sociales dans la quête de la performance sportive de haut niveau

Dans la perspective des Jeux olympiques de Paris, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR) ainsi que le ministère des Sports ont conjointement inauguré, en 2019, un ambitieux programme de recherche consacré au « Sport de très haute performance ». Cette initiative a marqué une réorientation significative des stratégies des fédérations sportives, mettant en exergue la montée en puissance des sciences humaines et sociales dans la sphère de l'amélioration de la performance. Le projet TEAM SPORTS, sélectionné dès la première vague d'allocations pour son approche novatrice dans l'axe « cognition et préparation mentale », a symbolisé cette transition, illustrant l'évolution des priorités vers une compréhension plus intégrée du facteur humain dans le sport.

Ce programme illustre une approche avant-gardiste, où la préparation mentale n'est plus envisagée au seul prisme de l'intra-individuel et de ses outils traditionnels souvent peu adaptés aux problématiques du sport collectif, mais davantage dans une perspective systémique (Campo et Djait, 2016) ancrée dans la complexité de ce qu'est la haute performance collective : une scène sociale à haute intensité émotionnelle, avec ses mécaniques qui lui sont propres et ses dynamiques relationnelles en perpétuel mouvement.

Destiné initialement à satisfaire les besoins stratégiques de la Fédération

française de rugby, le projet TEAM SPORTS a résonné largement au-delà, englobant les principaux sports collectifs. Avec un budget de 1,4 million d'euros, sur un coût total dépassant les 4 millions d'euros, ce projet collaboratif a réuni cinq laboratoires de recherche de réputation internationale dans leur domaine (Psy DREPI, CAPS-INSERM, Institut Image-ENSAM, CETAPS, et CEA-List) travaillant pour cinq fédérations de sports collectifs : les fédérations françaises de rugby (FFR), de handball (FFHB) de football (FFF), de volley (FFVolley) et de basket-ball (FFBB).

Le raisonnement : manager le « Je » et le « Nous » comme fondements d'une nouvelle approche de la psychologie du sport

Les sports d'équipe, par leur nature même, sont le théâtre d'une dialectique complexe entre les aspirations individuelles et les objectifs collectifs. C'est dans ce contexte que le projet TEAM SPORTS a entrepris d'adresser un questionnement fondamental : comment l'entraîneur peut-il efficacement cultiver un ethos collectif, un sens du « Nous », tout en contrecarrant les tendances individualistes exacerbées par les nouvelles sphères d'influence, telles que les réseaux sociaux et les pressions économiques ? Cette problématique semblait d'autant plus pertinente que la réussite sportive repose sur la capacité du sélectionneur à orchestrer une harmonie entre des individualités distinctes, forgeant ainsi

Le projet TEAM SPORTS :

Le projet TEAM SPORTS résulte de quatre années d'engagement collectif des chercheurs et des référents des fédérations, qui ont non seulement tenu les promesses du programme d'accompagnement scientifique, mais ont permis même de les dépasser. Nous tenons à remercier tout particulièrement les principaux collaborateurs du programme, cités par ordre alphabétique. Leur expertise et leur implication ont été essentielles à la réussite de ce projet : I. Bernache-Assolant (UB), Q. Bourgeois (URN), M. Carrier (CEA), P. Castel (UB), C. Carling (FFF), J.-R. Chardonnet (ENSAM), J. Commeres (FFBB), R. Côté (URN), J. Fournier (FFBB), P. Gérard, A. Guyomarch (UB, ENS Rennes), S. Harabi (UB), G. Hacques (URN), M.-F. Lacassagne (UB), F. Lebon (INSERM/UB), R. Lepers (INSERM/UB), R. Laurin (UB), C. Leprince (FFF), B. Louvet (URN), L. Lurquin (UB), A. Maglo (CEA), O. Maurelli (FFHB), T. Moullec (FFBB), S. Neyret (ENSAM/UB), J. Piscione (FFR), J. Pellet (UB), J. Pelloux-Prayer, E. Pété (UB), P. Sayd (CEA), C. Ruffino (INSERM/UB), J. Ryard (ENSAM), A. Sabourin (CEA), X. Sanchez (Univ. Orléans), L. Seifert (URN), F. Vitry (INSERM/UB).

une identité collective à la fois robuste et adaptative.

Ancré dans l'approche de l'identité sociale (Halsam, 2004), ce projet interdisciplinaire ambitionnait de doter les fédérations d'une compréhension enrichie des mécanismes régissant les liens entre l'identité individuelle (le « Je ») et l'identité collective (le « Nous »). Ces processus identitaires, qui s'inscrivent dans les interactions entre groupes, sont essentiels pour décrypter les comportements et les réactions émotionnelles des athlètes au sein de leurs collectifs. En effet, la perception du monde et des situations dans lesquelles un individu se trouve engagé varie substantiellement selon la « casquette identitaire » qu'il arbore à un moment donné.

Prenons pour exemple une joueuse de rugby : femme, potentiellement mère de famille, et athlète dans un sport traditionnellement perçu comme masculin (en raison de la prégnance de stéréotypes de genre). Cette joueuse, dans cet exemple,

fusionne en elle-même trois identités sociales distinctes. Imaginons que, dans le cadre réglementaire du jeu, elle réalise un placage particulièrement « brutal » sur une adversaire. Au regard de son identité de joueuse de rugby, cet acte sera perçu positivement, comme une manifestation de compétence et d'engagement sportif. Toutefois, ce même geste peut créer une dissonance avec son identité de femme, où les stéréotypes sociaux tendent à valoriser la douceur, ou avec celle de mère, où prévaut l'attente d'une bienveillance accrue. Que peut-elle ressentir si ce placage se produit devant ses enfants, spectateurs de cette scène au stade ce jour-là ? Une « émotion mixte » probablement, illustrant la complexité des réactions émotionnelles dans un tel contexte. Cette complexité est omniprésente en sports collectifs où les statuts peuvent parfois entraîner une forme de confusion identitaire, à l'image d'un joueur « star » heureux d'être mis en lumière en tant que meilleur joueur, alors que son équipe vient de perdre le match.

Cette situation souligne l'importance cruciale des processus identitaires, non seulement dans la perception des événements par l'individu, mais aussi dans ses réactions émotionnelles, ses décisions, ses comportements et, plus globalement, sa performance. Appréhender ces dynamiques s'avère alors crucial pour explorer en profondeur les interactions complexes entre les diverses facettes de l'identité d'un individu et leur influence sur son comportement et ses décisions, notamment dans des contextes intergroupes qui mettent en exergue les affiliations d'équipe. Cela est particulièrement perceptible dans le cadre prototypique de la compétition sportive, où ces phénomènes se manifestent avec une acuité remarquable.

Nous constatons dès lors la nécessité, dans les sports d'équipe, de dépoussiérer la préparation mentale traditionnelle, qui, ancrée historiquement dans une perspective intra-individuelle, s'avère désormais inadéquate pour relever les défis psychosociaux inhérents aux contextes de pratique collective. Ces derniers requièrent en effet en priorité absolue une compréhension et une intégration approfondies des dynamiques interpersonnelles et groupales, essentielles à la haute performance collective.

Le projet TEAM SPORTS a ainsi été conçu en plaçant cette compréhension des processus identitaires au cœur de sa structure, servant de colonne vertébrale à ce programme qui se déploie à travers trois axes de recherche principaux. Le premier se consacre à l'exploration des antécédents des dynamiques identitaires dans le cadre des sports d'équipe de haut niveau, répondant à la question suivante : qu'est ce qui fait qu'un ou une joueuse

s'identifie à l'équipe ? Cette exploration vise à élucider les raisons pour lesquelles les athlètes peuvent se sentir plus ou moins liés à leur équipe tout au long d'une saison sportive. Le deuxième axe se penche sur l'impact de ces dynamiques identitaires sur diverses dimensions de la performance, telles que les interactions motrices, les composantes affectives et les processus décisionnels. En somme, cet axe cherche à répondre à la question suivante : quelle est l'influence de l'identification à l'équipe sur la performance ? ou bien encore : le « Nous » est-il réellement nécessaire pour performer ? Cette étude offre un éclairage sur la manière dont l'identité collective façonne les performances individuelles et groupales sur le terrain. Enfin, le troisième axe, d'une nature résolument translationnelle, se concentre sur l'application pratique des connaissances acquises. Il s'agit de développer des outils technologiques innovants, tels que des systèmes de suivi vidéo et des environnements virtuels, et de concevoir des applications concrètes qui serviront à optimiser la gestion des équipes par les entraîneurs. Ce dernier volet du projet TEAM SPORTS vise non seulement à transformer les connaissances théoriques en stratégies opérationnelles mais également à affiner les méthodes d'accompagnement à la performance.

“... le sens du « Nous » s'intensifierait au gré des vécus partagés d'expériences intenses.”

Les avancées : des connaissances utiles à l'optimisation du management d'équipe

Facteurs clés du passage de l'individuel au collectif

Dans l'univers compétitif des sports d'équipe, la dynamique d'identification à l'équipe émerge comme un pilier essentiel de la performance. Décrypter les facteurs qui influencent le degré d'identification d'un joueur ou d'une joueuse à son équipe s'avère plus que pertinent pour l'optimisation des performances, qui elle-même dépend de la dynamique de groupe et des états émotionnels qui en résultent.

Dans cette perspective, il convient de souligner que l'identification à l'équipe n'est pas un phénomène statique ; elle est sujette à des variations en fonction de nombreux paramètres, tant internes qu'externes. Ces paramètres sont souvent examinés à travers le prisme des compétences expérientielles de l'entraîneur, mais plus rarement sous l'angle d'une compréhension approfondie des mécanismes psychologiques et sociaux sous-jacents. C'est dans cette première perspective que le projet TEAM SPORTS s'est inscrit, cherchant ainsi à compléter ou asseoir la connaissance empirique par l'évidence scientifique.

Une étude qualitative a permis de mener des entretiens avec 196 joueurs et joueuses de haut niveau, allant des équipes de France de moins de 20 ans aux équipes de France olympiques (Pellet *et al.*, 2024). Cette investigation scientifique, d'une ampleur inédite, a permis d'identifier les facteurs situationnels, dans le cadre de vie comme dans le cadre de

jeu, qui viennent impacter l'identification à l'équipe, soit en la renforçant, soit en la diminuant, renforçant ainsi mécaniquement la centration sur le « Je ».

Les résultats confortent le ressenti que, de manière générale, les éléments qui ont trait à l'équipe ou à l'engagement pour le groupe sont ceux qui favorisent le plus le fait de se sentir membre du groupe. En particulier, le sens du « Nous » s'intensifierait au gré des vécus partagés d'expériences intenses. Dès lors, si les matches concourent naturellement à ce type de situations, ces résultats suggèrent par ailleurs l'importance de provoquer ce type d'expériences émotionnelles intenses lors des entraînements et au sein même du cadre de vie, ce dernier étant souvent moins maîtrisé que le cadre de jeu. À l'inverse, nos résultats révèlent les éléments clés du repli sur soi, de la distanciation personnelle à l'équipe. Nous retrouvons ici l'effet des défaites, qui s'aligne parfaitement avec la théorie de l'identité sociale, laquelle nous renseigne sur le fait que la valeur que l'on s'accorde est influencée par notre identité en tant que membre d'un groupe. Or, lorsque le groupe expose une faible valeur du fait de défaites, cela peut ruisseler mécaniquement sur la valeur accordée par la joueuse ou le joueur sur soi-même, provoquant ainsi plus ou moins inconsciemment une distanciation, une désidentification à l'équipe pour ne pas subir personnellement l'image de son groupe. Par ailleurs, les joueurs et joueuses semblent être extrêmement sensibles aux hétérogénéités relationnelles, notamment pour ce qui concerne les relations entre l'entraîneur (qui peut symboliquement refléter une figure paternaliste) et les différents coéquipiers. Ainsi, si la ou le joueur sent

un déséquilibre de relation socio-affective en sa défaveur, cela aura tendance à provoquer son éloignement psychologique du groupe (Louvet *et al.*, 2022). Enfin, il s'agit également de noter l'influence des performances personnelles. Les contre-performances et les évaluations négatives, souvent interprétées par les joueurs et joueuses à travers le prisme du temps de jeu qui leur est attribué, tendent à favoriser un retrait progressif. Cette dynamique met en lumière l'importance cruciale du soutien social et l'établissement d'une norme de soutien social au sein du collectif, en particulier de la part de l'encadrement, lorsque leurs décisions conduisent à limiter, voire à restreindre, la participation de leurs athlètes. En synthèse, nos résultats mettent en lumière une dynamique fondamentale : lorsque l'appartenance au groupe semble psychologiquement moins enrichissante ou plus menaçante pour l'individu, celui-ci est enclin à se retrancher sur sa propre identité. Cette réaction de repli peut engendrer des conflits relationnels, phénomène abondamment documenté dans l'histoire du sport collectif. Cette inclination vers l'individualisation met en exergue la complexité inhérente aux interactions au sein des équipes sportives et accentue l'importance de stratégies d'encadrement novatrices. Ces stratégies doivent s'éloigner de la norme traditionnelle du « tout sacrificiel », qui préconiserait des sacrifices individuels pour le bien collectif sans condition. Elles doivent plutôt reconnaître que, pour inciter un athlète à se « sacrifier » pour le groupe, il est crucial que le projet d'équipe et l'appartenance à celle-ci soient perçus comme valorisants et bénéfiques, et ce, indépendamment des résultats obtenus. Nos données révèlent également que les

résultats de l'équipe ont tendance à influencer davantage les joueuses que les joueurs dans leur rapport à l'équipe, avec un impact encore plus marqué dans le handball par rapport aux autres sports étudiés.

C'est dans cette direction que s'engage une deuxième étude sur ces facteurs clés du passage du « Je » au « Nous », de l'individuel au collectif. Après avoir validé la traduction française d'un questionnaire permettant de mesurer les niveaux d'identification à l'équipe ressentis par les sportifs (Campo *et al.*, 2022), une étude quantitative a été menée auprès de joueurs et joueuses issus du Projet de performance fédérale (PPF) afin de mettre en évidence dans quelle mesure la perception de la relation entraîneur-entraînés et la perception du climat motivationnel d'entraînement participent à la construction de l'identité sociale (Louvet *et al.*, 2022). Cette dernière s'organise autour de trois dimensions : la force des liens ressentis avec le groupe, le degré des affects ressentis envers l'équipe et l'adéquation des idées personnelles avec celles du groupe. Les résultats indiquent que, par exemple en rugby, plus les niveaux d'engagement reportés avec l'entraîneur sont élevés, plus forts sont les liens ressentis avec le groupe et plus les idées personnelles des joueurs sont en adéquation avec celles de leur équipe. Par ailleurs, plus les joueurs perçoivent leur entraîneur comme étant complémentaire à leur développement, plus importants sont les affects expérimentés envers l'équipe et meilleur est l'ajustement de leurs opinions avec celles du groupe. De plus, l'identification à l'équipe est aussi significativement influencée par les perceptions des joueurs quant au climat motivationnel établi par les entraîneurs à l'entraînement. Ainsi, plus les

entraîneurs tendent à soutenir l'autonomie de leurs joueurs, que ce soit par exemple en tenant compte de leurs opinions ou en les encourageant, et plus ces derniers reporteront des niveaux élevés d'identification à l'équipe. En fin de compte, les résultats de cette deuxième étude soutiennent que des variables telles que la qualité de la relation entraîneur-entraînés et la perception du climat motivationnel constituent des déterminants essentiels de l'identification à l'équipe, de ce passage du « Je » au « Nous ». Enfin, il est également primordial que les perceptions des joueurs et des entraîneurs convergent pour une meilleure construction de l'identité collective, et ce, tout au long de la saison sportive.

Ces études et les connaissances théoriques qu'elles mobilisent nous enseignent particulièrement le poids de l'interprétation individuelle de la situation dans laquelle sont plongés les joueurs et joueuses. En ce sens, si ces premiers résultats mettent en avant l'importance des interactions sociales, il convient de mettre également en avant le poids de ce qui touche à l'individu lui-même. En d'autres termes, il s'agit de comprendre que chaque situation exerce une signification particulière pour la ou le joueur en termes d'impact sur ce qui est important pour elle ou lui, que ce soit sur le plan des besoins psychologiques fondamentaux ou du bien-être. Ainsi, une situation provoquée mécaniquement par l'appartenance au groupe peut toucher d'une manière ou d'une autre le sentiment de compétence du ou de la joueuse, son sentiment d'autonomie ou bien encore d'appartenance à l'équipe, le tout amenant à impacter son estime de soi. Le contexte vécu peut aussi imposer chez les athlètes de haut niveau

des situations venant toucher leur bien-être, qu'il soit mental ou physique, que ce soit de manière chronique ou accrue. Ainsi, certaines situations d'entraînement, comme de match, exigent des joueurs et joueuses qu'ils et elles se « fassent mal », au sens du dépassement des limites physiques, comme c'est le cas lors des entraînements à haute intensité. Mais quelle est l'influence de cette perception de l'effort et de la douleur associée sur l'identification au groupe ? En définitive, la nécessité pour l'athlète de faire personnellement l'expérience de circonstances déplaisantes inhérentes à son appartenance au groupe (du fait de sa participation à cette équipe, il ou elle doit endurer des sessions d'entraînement physiquement éprouvantes), ne pourrait-elle pas, à terme, contribuer à un éloignement ponctuel de l'équipe ? Des résultats préliminaires (Lepers *et al.*) permettent d'apporter des premières réponses à cette question.

Dans cette étude, les sportifs et sportives fournissaient un effort croissant jusqu'à ce que ce ne soit plus tenable. Tout au long de cet effort, nous avons mesuré en continu leur sentiment d'appartenance au groupe. À l'inverse de nos hypothèses initiales, qui postulaient que les efforts de haute intensité pousseraient les sportifs à se recentrer sur eux-mêmes pour mieux répondre aux exigences sévères de l'exercice, les résultats révèlent une dynamique inattendue. En effet, plus l'effort était perçu comme intense, plus les athlètes ressentaient un renforcement des liens avec les autres membres de leur groupe. Cette perception accrue de l'appartenance n'altérait ni leur plaisir d'être membre du groupe, ni l'importance qu'ils accordaient au groupe. Ces résultats montrent ainsi que

les entraîneurs peuvent largement jouer sur le levier de l'appartenance au groupe lors d'une mi-temps ou d'un temps mort, lorsque le match se veut très éprouvant sur le plan physique. Ces résultats sont également riches d'enseignement pour les méthodologies d'entraînement, suggérant l'utilisation des séances de préparation physique, notamment les entraînements à haute intensité, en tant que moyen de renforcer également le sentiment d'appartenance au groupe. Considérant ainsi la préparation physique des athlètes comme étant également une approche de préparation mentale collective intégrée, cela invite à réaliser les séances d'efforts maximaux en collectif total, et à imaginer des moments de renforcement de la dynamique de groupe lors des conclusions de séances, voire pendant les temps de récupération au sein même de la séance d'entraînement (Relave *et al.*, 2019). Cette stratégie permettrait ainsi de lier étroitement le travail physique à l'optimisation des interactions sociales.

Le rôle de l'identité collective dans l'optimisation de la performance en sports collectifs

S'il est important de maîtriser les leviers d'émergence du sens du « Nous », il semble tout aussi évident d'apporter des connaissances fines sur l'influence de ce sentiment d'appartenance, de cette identification à l'équipe, sur les facteurs de construction de la performance. Bien évidemment, si nous épousons l'importance d'une approche globale à l'image du modèle systémique de la performance en sports collectifs (Campo et Djait, 2016), l'approche scientifique requiert toutefois l'isolation des variables influentes afin d'étudier leurs

effets spécifiques, malgré leur imbrication dans une structure plus complexe qui caractérise la réalité de la performance dans les sports collectifs. Il s'est donc agi pour nous de déterminer l'impact spécifique de l'identification au groupe sur les facteurs de performance, indépendamment de leur interconnexion dans le dynamisme plus élaboré de la réalité sportive.

L'identification au groupe impacte les émotions

Dans ce contexte, des informations précieuses ont pu émerger des expérimentations. Par exemple, une étude menée auprès de 388 joueurs et joueuses issus du PPF jusqu'aux équipes de France A (Pellet *et al.*, s. d.), a permis de montrer l'importance de la perception de l'équipe adverse sur les émotions ressenties. Nous avons en particulier cherché à comprendre comment la perception du rapport à l'adversaire influençait les émotions des joueurs. Nos résultats montrent que l'avantage émotionnel (ressentir davantage d'émotions facilitantes) dans les compétitions sportives se base sur deux leviers distincts : le statut de domination de l'équipe et les valeurs attribuées aux adversaires. Une perception de domination, qu'elle soit physique, technique, stratégique ou basée sur le classement, engendre chez les joueuses-et joueurs des émotions positives et une moindre inquiétude, tout en faisant percevoir les adversaires comme plus vulnérables. D'autre part, lorsque les adversaires sont vus comme ayant des valeurs supérieures, cela peut renforcer une perception de sérénité chez l'adversaire. La perception des émotions de groupe étant essentielle dans la performance individuelle comme collective (Campo *et al.*, 2019), cette interaction entre perceptions de statut

et de valeurs semble essentielle dans la préparation d'un match. Ainsi, la préparation mentale de l'équipe sera optimisée non seulement en renforçant la perception de ses atouts par rapport à l'adversaire, particulièrement face à des équipes perçues comme égales ou supérieures, mais aussi en atténuant la perception des valeurs adverses, notamment contre des équipes moins fortes mais jugées valeureuses. Cette approche aide à contrer les écueils fréquemment rencontrés dans le sport, tels que la peur de perdre ou la sous-estimation d'un adversaire, participant ainsi à une meilleure maîtrise du contexte émotionnel de match.

Par ailleurs, la dimension affective semble également être impactée par l'identification au groupe. Le projet TEAM SPORTS a d'ailleurs été fondé sur l'approche psychosociale des émotions (Campo, 2020), mettant en avant l'influence de la relation entre les identités activées par le contexte sur les états émotionnels des joueurs et joueuses (et des staffs) : par exemple, le fait d'être en compétition directe avec un membre de l'équipe, de représenter son pays et sa discipline, ou bien encore d'être à la fois membre à part entière de l'équipe mais avec un statut de remplaçant. Ainsi, une étude préliminaire menée auprès de joueurs de football de niveau intermédiaire a pu montrer que l'état émotionnel du joueur, juste avant de tirer son penalty, était influencé par ce qu'il percevait des émotions de son groupe en tant qu'entité, mettant en avant l'importance des normes d'expression émotionnelle, notamment le *body langage* : avant un tir au but par exemple, le groupe semble agir comme un protecteur des effets handicapants de l'anxiété (Perreau-Niel *et al.*, 2024).

Une autre étude (Laurin *et al.*), réalisée auprès de sportifs et sportives de niveau intermédiaire, a cherché à mesurer la capacité affective de résistance à l'échec répété. Les résultats ont montré que lorsque l'équipe était en échec, les sportives et sportifs les plus identifiés abandonnaient plus facilement que ceux pour qui le groupe avait moins d'importance. À l'inverse, quand c'était l'athlète qui était en difficulté, les plus identifiés au groupe persistaient mieux que ceux qui étaient moins identifiés au groupe. Les principes de cette étude sont actuellement en cours de réplication auprès de joueurs du PPF de la Fédération française de rugby et des structures d'accession au haut niveau de la Fédération française de volley. Les résultats préliminaires de cette seconde étude indiquent que les joueurs et joueuses les plus identifiés ont tendance à prendre plus de risques en situation de réussite individuelle ou collective. Ces résultats, certes préliminaires et nécessitant d'être confrontés à la réalité du très haut niveau, ouvrent néanmoins une perspective quant à l'importance de prendre en compte le niveau d'identification du ou de la joueuse comme une variable d'ajustement de l'individualisation du plan d'entraînement, adaptant ainsi les *feedbacks*, voire les situations proposées pour améliorer les capacités de résistance à l'échec.



Figure 1 – Image de l'expérimentation.

L'identification au groupe impacte les performances

Concernant l'impact de l'appartenance à un groupe sur les performances cognitives, nos recherches ont révélé que l'identification joue un rôle prépondérant dans la prise de décisions, lesquelles tendent à mieux correspondre à l'analyse du rapport de forces (Hacques *et al.*, soumis), tout en étant influencées par les caractéristiques des indicateurs situationnels. En effet, il apparaît que les joueurs professionnels de basket-ball moins engagés vis-à-vis de leur équipe montrent une préférence pour des actions individuelles, telles que les tirs isolés, plutôt que pour des stratégies exploitant les atouts collectifs (Guyomarch *et al.*, 2024). De façon plus générale, nos études menées dans les domaines du rugby et du basket-ball, impliquant 161 participants confrontés à des scénarios de jeu rapide de divers degrés de complexité, démontrent que plus les joueurs se sentent partie intégrante de leur équipe, meilleures sont la qualité du jeu et la performance, cette dernière étant mesurée en nombre de points marqués (Hacques *et al.*, soumis).

Par ailleurs, une recherche sur l'impact de l'identification au groupe sur la performance physique a révélé des nuances intéressantes. Il semble que les joueurs démontrent un engagement plus profond dans l'effort lorsqu'ils se concentrent sur leurs propres objectifs plutôt que sur ceux de l'équipe. Mais malgré cela, les individus fortement identifiés à leur groupe manifestent une motivation plus accrue et conservent un espoir plus soutenu quant au succès collectif. Ce phénomène, lors d'une situation de match de forte intensité par exemple, peut se révéler bénéfique en situations de faible

désavantage, notamment en permettant de contenir ou retarder l'installation d'une panique contaminante au niveau collectif, mais pourrait aussi devenir contre-productif lors de défis plus conséquents de par l'illusion provoquée qui pourrait amener à une absence de mise en alerte des membres de l'équipe (Vitry *et al.*, s. d.).

Les héritages de TEAM SPORTS

Les programmes du PPR « Sport de très haute performance » sont conçus pour relever les défis du mouvement sportif à plusieurs niveaux. Ils visent non seulement à optimiser les performances au plus haut niveau, notamment lors des préparations pour les Jeux olympiques, mais aussi à enrichir l'ensemble de l'écosystème sportif. En outre, ces initiatives ont pour but de générer des bénéfices tangibles pour la société dans son ensemble. Dans ce cadre, des efforts considérables ont été déployés pour que le projet TEAM SPORTS puisse arborer un fort potentiel de transfert au terrain, afin que les fédérations partenaires bénéficient au mieux des initiatives de recherche impulsées par ce programme.

Les connaissances

De toute évidence, le principal produit des initiatives de ce genre dans le champ des sciences humaines consiste en l'apport significatif de connaissances, qu'elles soient mobilisées ou découvertes dans le cadre du projet. Dans cette optique, le projet TEAM SPORTS explore un domaine particulièrement innovant de la préparation mentale : la psychologie sociale du sport. Représentant actuellement environ 12 % de l'ensemble des connaissances académiques dans ce secteur, cette initiative s'affirme

indubitablement comme une démarche pionnière dans le domaine de la préparation mentale en sports collectifs. Cela questionne donc les voies de transfert de ces nouvelles connaissances adaptées aux caractéristiques des publics cibles, particulièrement ici, les entraîneurs. En ce sens, et au-delà d'interventions ponctuelles auprès des fédérations, le projet TEAM SPORTS a élaboré trois produits durables de transfert aux fédérations : huit fiches-notions, un [podcast](#) de douze épisodes, et une formation unique en Europe : le diplôme d'université « [Optimisation de la haute performance collective : management et préparation mentale](#) ».

Les développements technologiques

Au-delà de la question du transfert de connaissances innovantes, l'approche traditionnelle de la préparation mentale se heurte également à des défis appliqués, largement imposés par la difficulté d'induire des états psychoaffectifs ou encore de mesurer en direct et de manière objective les ressentis individuels ou collectifs. Dans cette perspective, le projet TEAM SPORTS a permis le développement de trois technologies répondant à ces défis. Développée par l'ENSAM en collaboration avec l'université de Bourgogne, la première concerne un environnement virtuel permettant de renforcer ou de diminuer le sentiment de connexion avec l'équipe, provoquant ainsi différents états affectifs chez l'utilisateur. Ayant également développé la possibilité de mesurer ces états au sein même de l'environnement virtuel, cet outil permettra ainsi d'induire des états émotionnels en vue d'optimiser les effets de l'entraînement mental (comme la répétition motrice) ou tout simplement pour se familiariser avec le

contexte de match (pour les jeunes joueurs et joueuses ou les athlètes n'ayant pas l'habitude de jouer dans les conditions des Jeux).



Figure 2 – Illustration de l'environnement virtuel utilisé dans le cadre d'une expérimentation avec l'équipe de France masculine de rugby à 7.

La seconde technologie, développée par le CEA en collaboration avec l'université de Bourgogne, consiste en l'utilisation de l'intelligence artificielle dans le but de capturer automatiquement, via la vidéo, les indicateurs comportementaux liés à la dynamique de groupe, spécifique à chaque sport, comme le *body langage* en rugby ou la vitesse de repli défensif en handball.

La troisième technologie, développée par l'université de Bourgogne en collaboration avec le département d'accompagnement à la performance de la FFR, a consisté en l'élaboration d'un outil permettant de

capturer des métriques liées au rapport de force psychologique (stress collectif) via l'analyse des statistiques de jeu, outil notamment utilisé par le XV de France pour la coupe du monde 2023 et l'équipe de France masculine de rugby à 7 pour les Jeux olympiques de Paris 2024.

Ces développements technologiques mettent en lumière une nouvelle facette de l'accompagnement scientifique en sciences humaines, en apportant ici l'intérêt des usages et outils technologiques dans le futur de la préparation mentale.



Figure 3 – Illustration de l'environnement virtuel développé en basket-ball.

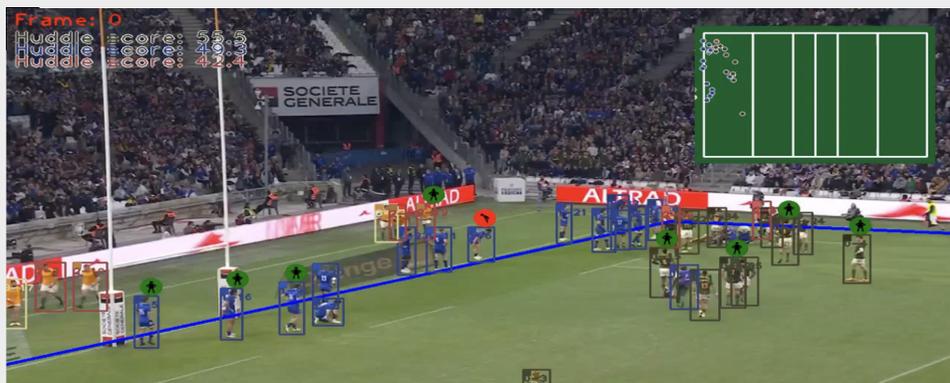


Figure 4 – Illustration du tracking video – match XV de France – Afrique du Sud, novembre 2022.

2021-11-20 France New Zealand

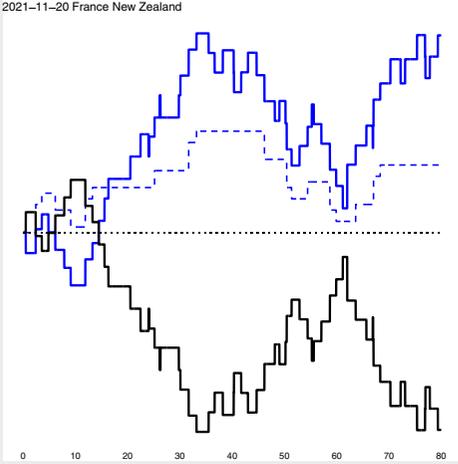


Figure 5 – Illustration de la mesure de rapport de force psychologique, match XV de France – Nouvelle-Zélande, novembre 2021.

Les impacts sociétaux

Au-delà du domaine de l'élite sportive, le programme TEAM SPORTS s'est engagé dans une démarche visant à générer un impact sociétal étendu. Cette initiative a favorisé l'émergence de quatre thèses académiques, dont deux ont été réalisées sous le régime de la Convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE). Ces recherches ont abordé des problématiques variées, allant de l'analyse de la perception de l'environnement affectif et de son influence sur l'activité motrice (Perreau-Niel, Université de Bourgogne), à l'étude du développement de compétences psychosociales chez les enfants par le biais des sports collectifs (Gérat, CIFRE avec la ligue AURA de rugby). D'autres travaux explorent l'application des théories de l'apprentissage moteur aux développements de compétences de leadership (CIFRE avec la ligue Île-de-France de rugby), ainsi que les effets de l'identité

sociale sur les processus psychophysiologiques liés au positionnement du regard (Guyomarch, ENS Rennes). Ensemble, ces thèses contribuent à une richesse d'héritage pour la société, témoignant de la portée transformative du sport bien au-delà de ses manifestations compétitives.

La portée des Programmes prioritaires de recherche (PPR) s'est également plus largement étendue à la structuration de la psychologie du sport en France. La reconnaissance de l'importance des PPR a facilité l'élection de plusieurs acteurs clés au sein du comité directeur de la Société française de psychologie du sport (SFPS), incluant le responsable du projet TEAM SPORTS (M. Campo, président de la SFPS), ainsi que la responsable du projet « Train Your Brain » (second projet du défi cognition et préparation mentale, J. Doron, vice-présidente) et du responsable de l'axe psychologie du projet « Fulgur » (A. Ruffault, membre du bureau). Cette collaboration avec les fédérations sportives a contribué à l'élaboration d'un projet qui soutient le développement de la psychologie du sport en France, tout en promouvant la discipline à travers la formation et la recherche. Le projet vise également à engager la société savante dans des enjeux sociétaux majeurs, tels que la lutte contre les violences dans le sport et la régulation de la profession de préparateur mental pour mieux protéger les athlètes. Ce dernier dossier est actuellement suivi par le ministère des Sports en collaboration avec le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, bénéficiant de la participation de l'ensemble des institutions impliquées dans le domaine de la préparation mentale, réunies au sein du Conseil national des préparateurs mentaux.

Il apparaît manifestement que les quatre années d'engagement au sein de TEAM SPORTS ont été une période d'enrichissement intellectuel et pratique notable. Les connaissances approfondies et les compétences développées durant cette période constituent désormais une expertise unique. Cette expertise, riche et diversifiée, promet non seulement de favoriser le progrès futur des fédérations sportives, mais elle se révèle également propice au transfert interdisciplinaire. Elle peut en effet être efficacement appliquée dans d'autres sphères de la « performance » collective, telles que les arts, le milieu médical, éducatif ou le secteur de l'entreprise, démontrant ainsi la polyvalence et la portée transformative de l'expérience accumulée.

Conclusion : les impacts fédéraux

L'héritage majeur de ce projet réside sans doute dans l'impact structurel sur les fédérations partenaires. En effet, l'une des leçons essentielles a été de comprendre que l'efficacité de tels projets dépend directement du niveau de structuration des fédérations dans le domaine de l'accompagnement à la performance, et plus spécifiquement, en ce qui nous concerne, de la psychologie du sport. Par exemple, la Fédération française de rugby (FFR) fait figure de proue avec une structuration de cette dimension depuis plus de vingt ans, allouant un budget conséquent à la préparation mentale à tous les niveaux de pratique et adoptant une véritable stratégie fondée sur la recherche et l'innovation. Il est évident que les travaux de TEAM SPORTS ne peuvent résonner de la même manière pour des fédérations qui n'ont commencé à investir structurellement dans cette dimension qu'avec le lancement de ce projet. Comment imaginer que les

dernières innovations puissent immédiatement imprégner les pratiques des entraîneurs si ces derniers n'ont jamais réellement reçu les bases, ni même été sensibilisés à l'importance de cette dimension dans l'optimisation de la performance ? Dans cette perspective, TEAM SPORTS a su s'adapter pour permettre une sensibilisation efficace à ces enjeux.

Cela met en évidence l'importance du projet fédéral qui, même lorsqu'il est conçu au niveau national, doit encore être distillé à tous les échelons locaux, ce qui demande du temps. Dans cette perspective, TEAM SPORTS a permis aux fédérations, quel que soit leur niveau d'avancée dans ce domaine, d'accélérer une mise en place indispensable d'une structuration de la dimension mentale. Cela a non seulement été permis par une mise en lumière de l'importance cruciale de cette dimension, mais également au travers d'une synergie entre les fédérations leur permettant de s'enrichir mutuellement. Ce projet a été l'occasion de démontrer la puissance que peut apporter l'accompagnement scientifique dans le domaine des sciences humaines, révélant ainsi le potentiel encore inexploité dans l'optimisation des projets fédéraux d'accompagnement à la performance, et incitant l'ensemble des partenaires sportifs à intensifier leurs efforts dans ce domaine.

La période post-JO est déjà intégrée dans les plans de chaque fédération partenaire de TEAM SPORTS, lesquelles souhaitent ardemment que cette dynamique engagée par le programme perdure dans les années à venir. L'importance du sujet est indéniable, et le milieu des sports collectifs se prépare à investir davantage ce domaine pour tirer profit des travaux accomplis, sur le long

terme et de manière structurée. Cette dynamique est d'ores et déjà illustrée par des initiatives post-JO telles que la création d'une application de monitoring psychosocial (en cours de développement par l'université de Bourgogne pour les fédérations partenaires) qui invite à l'intégration d'un *sport scientist* en sciences humaines au sein des structures fédérales. Dans cette perspective, le séminaire des staffs des équipes de France de sports collectifs, dernier livrable post-JO de TEAM SPORTS, organisé en septembre 2024 à la Maison du Handball, s'est concentré sur la définition d'une deuxième version de TEAM SPORTS, témoignant du besoin des fédérations en termes de continuité et d'évolution de la dynamique engagée.

À l'image du témoignage des deux entraîneurs olympiques de rugby, les Jeux olympiques ont mis en lumière l'importance de la dimension mentale dans le domaine de la haute performance. Le risque pour toutes les fédérations souhaitant s'engager dans cette dynamique est alors de vouloir sauter des étapes, de peu ou de mal structurer le projet, et d'installer durablement un fonctionnement approximatif, peu efficient, voire complètement à côté des besoins singuliers de chaque discipline. Les travaux de TEAM SPORTS, son approche et ses livrables, sont une invitation pour le sport français à se structurer autour de l'accompagnement scientifique, pour que les entraîneurs, et plus globalement les fédérations qui souhaiteront investir cette dimension, empruntent une voie solide et construisent un projet fédéral éprouvé par les connaissances et l'évidence scientifique.

Témoignages

David Courteix



David Courteix - crédit image FFR

« La dimension mentale a été une partie essentielle de la démarche mise en œuvre au sein du projet pour permettre l'éruption, le surgissement de performance collective en compétition. Le fait que celle-ci soit adaptée aux spécificités du sport collectif permet de l'intégrer au quotidien, nous donnant ainsi de vraies perspectives d'optimisation des relations humaines et de la dynamique de groupe, parfois en nous poussant à l'interrogation de nos pratiques et de notre cohérence, parfois à l'inverse en nous confortant dans nos raisonnements et nos modes de réflexion ou d'organisation. Je crois fermement au fait que les sciences humaines et sociales s'inscrivent indubitablement dans le devenir de la performance en sports collectifs. Je suis convaincu que dans cette ère qui exacerbe parfois l'importance des data et tend trop souvent à imposer des formes de "prêt-à-penser", on peut se compromettre en oubliant la complexité de ce qu'est réellement la performance humaine. La performance est, *a fortiori* dans les sports collectifs, intrinsèquement située sur une scène sociale, et les sciences humaines nous permettent ainsi de remettre l'humain et la relation au cœur de nos préoccupations. Le

projet TEAM SPORTS, mis en lumière par les Jeux de Paris, représente finalement l'instauration d'un vrai premier pas vers l'avènement des sciences humaines au sein des systèmes de performance collective. C'est la conjugaison de la rigueur scientifique adaptée au terrain, et d'un contrepied au conformisme parfois existant amenant à vouloir tout contrôler, user de méthodes toutes faites, là où l'humain est singulier, et donc par définition, difficilement prédictible lorsqu'il évolue en groupe. Les sciences humaines, notamment celles mobilisées par ce projet, renvoient aux vertus du tout, aux vertus du nous, qui fait que le tout est supérieur à la somme de ses parties. Le travail réalisé dans le cadre de la préparation aux Jeux nous a finalement renvoyés à un challenge : faire en sorte que le groupe trouve les complicités adéquates pour former un sens du "Nous". » (David Courteix, Head Coach équipe de France olympique féminine de rugby à 7)

Jérôme Daret



Jérôme Daret - crédit image FFR

« Je fais infuser TEAM SPORTS partout dans notre projet de performance. Nous avons très largement travaillé sur la construction de notre identité et sur la régulation des émotions collectives et du *body langage*. Les connaissances acquises et l'accompagnement scientifique dont nous avons bénéficié nous ont permis

d'aller au-delà de ce qu'on aurait pu envisager en termes d'innovation des pratiques d'optimisation de la performance collective. Au regard du travail immense que nous avons réalisé dans ce domaine depuis plusieurs années, nous avons dépassé ici le stade des gains marginaux, ce qui me laisse penser que nous sommes ici davantage dans des gains magistraux. » (Jérôme Daret, Head Coach de l'équipe de France Olympique masculine de rugby à 7 médaillée d'or à Paris 2024)

Bibliographie

- Campo, M. et Djäit, R. (2016). *La dimension mentale en rugby : comment optimiser la performance collective et individuelle ? Quels outils au service de l'entraîneur pour former et accompagner les joueurs ?* De Boeck supérieur.
- Campo, M. (2020). *Évolution paradigmatique de la relation émotions-performance en sport. Une approche par l'identité sociale*. [Habilitation à Diriger des Recherches], Université de Bourgogne, Dijon, France.
- Campo, M., Louvet, B. et Harabi, S. (2022). Dimensions of social identification with the team as predictors of the coach-created training climate in rugby: A group-actor partner interdependence modelling perspective. *Psychology of Sport and Exercise*, 59, 102104. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102104>
- Campo, M., Mackie, D. M. et Sanchez, X. (2019). Emotions in group sports: A narrative review from a social identity perspective. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00666>
- Campo, M. et Sanchez, X. (2020). Social identity and group-based emotions: Application in the

sporting context. Dans M. C. Ruiz et C. Robazza (dir.), *Feelings in sport: Theory, research, and practical implications for performance and well-being* (p. 70-78). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003052012-9>

Gérat, P. (s. d.). Promotion de l'épanouissement par le Rugby : le climat d'entraînement et les compétences psychosociales comme moyen de favoriser le bien-être des jeunes pratiquant-es [Thèse de doctorat en préparation]. Université de Bourgogne, Dijon, France.

Guyomarch, A. (s. d.). Effets des processus identitaires sur les mécanismes de perception visuelle et de prise de décision : étude des joueurs de sports collectifs [Thèse de doctorat en préparation]. Université de Bourgogne, Dijon, France.

Guyomarch, A., Cottureau, B., Martin, S., Pété, E. et Campo, M. (2024, 23-25 juin). *Effect of identity positioning on visual search strategies and decision-making in team sports: An exploratory study with professional basketball players*. [communication orale]. 4th International Conference on Social Identity in Sport, Dijon, France. <https://doi.org/10.51224/SRXIV.386>

Haslam, S. A. (2004). *Psychology in organizations: Psychology in organizations*. Sage.

Hacques, G., Bourgeois, Q., Campo, M. et Seifert, L. (2024). Performance and decision making in rugby union: Influence of team-based goals and task complexity [document soumis pour publication]. *Acta Psychologica*.

Laurin, R. et Pellet, J. (2024). Affective responses mediate the body language of penalty taker–decision-making relationship from soccer goalkeepers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 95(1), 227-234. <https://doi.org/10.1080/02701367.2023.2189466>

Louvet, B., Sanchez, X. et Campo, M. (2022, 25-28 juin). *Influence of coach-athlete relationships on social identification*

with the team [communication orale]. 3rd International Conference on Social Identity in Sport, Liverpool, England.

Pellet, J., Gabarrot, F., Laurin, R. et Campo, M. (2024). Fostering team dynamics in university sport science student: a low-constraint social identity intervention. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, 124, 25-35. <https://doi.org/10.1051/sm/2024003>

Pellet, J., Lacassagne, M.-F., Castel, P., Pété, E., Harabi, S., Gérat, P. et Campo, M. (s. d.). Emotion – social partition relationship in team sports.

Perreau-Niel, G., Campo, M. et Laurin, R. (2024). Le craquage sous pression en sports collectifs : une approche compréhensive et transformationnelle par l'identité sociale [Thèse de doctorat en préparation]. Université de Bourgogne, Dijon, France.

Perreau-Niel, G., Laurin, R. et Campo, M. (2024, 23-25 juin). *The role of social identity in the perception of team and opponent emotions and its influence on the emotion-performance relationship in football penalty takers*. [communication orale]. 4th International Conference on Social Identity in Sport, Dijon, France.

Relave, A., Campo, M. et Nicolas, M. (2019). Influence de la préparation physique sur les relations interpersonnelles : une étude exploratoire. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, 105, 53-59. <https://doi.org/10.1051/sm/2019008>

Vitry, F., Pellet, J., Harabi, S., Lacassagne, M.-F., Castel, P., Laurin, R., Bernache-Assolant, I., Campo, M., Pété, E. et Lepers, R. (s. d.). TEAMSPOrts research program for 2024 Olympic Games – Social identification influences players physical effort during an endurance task.

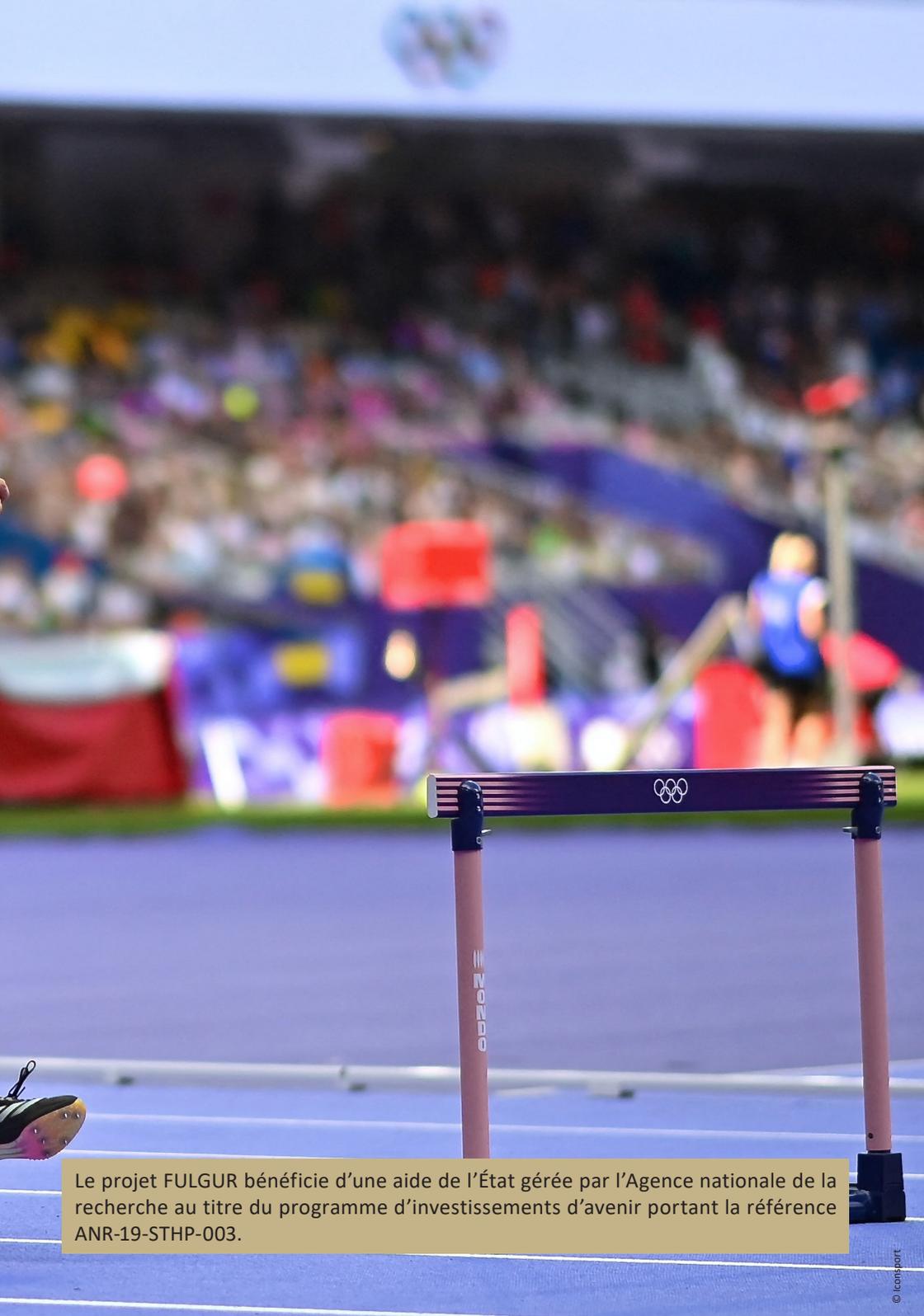
Individualisation de l'entraînement et de la prévention en sprint : le projet FULGUR



Caroline Giroux

Laboratoire Sport, expertise, performance, INSEP

Consortium FULGUR



Le projet FULGUR bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-19-STHP-003.

Quatre sportifs sur dix sélectionnés aux Jeux olympiques de Paris étaient engagés dans des disciplines incluant de la course à très haute vitesse. Dans ces disciplines la majorité des blessures sont musculaires et touchent les membres inférieurs. Aux Jeux olympiques de Tokyo, sur les 1 035 blessures rapportées par les comités olympiques nationaux, 119 concernaient des blessures musculaires (Soligard *et al.*, 2023). Tous sports confondus, plus de la moitié de ces blessures touchaient le groupe musculaire des ischio-jambiers et atteignaient jusqu'à 73 % en athlétisme (Katagiri, 2022). La blessure initiale étant le principal facteur de risque, réduire son incidence est une priorité stratégique des entraîneurs désireux d'augmenter la disponibilité des sportives et sportifs à s'entraîner pour pouvoir participer et être performants lors des échéances internationales. Les ischio-jambiers sont un groupe musculaire situé à l'arrière de la cuisse composé de quatre chefs (chef long et court du biceps fémoral, semi-tendineux et semi-membraneux). Ils sont particulièrement exposés au risque de blessure lors d'un sprint. En effet, les modèles biomécaniques suggèrent que la déformation, l'activation et la force produite par les ischio-jambiers sont maximales à la fin de la phase d'envol, juste avant le contact du pied avec le sol.

Malgré l'attention particulière portée par les principaux centres de médecine du sport de haut niveau à cette problématique, il est à noter que le taux de récurrence des blessures musculaires est resté significatif ces dernières décennies (14 à 63 %). La persistance de ce problème pourrait provenir (i) de critères inappropriés pour évaluer le niveau de risque, (ii) d'une compréhension limitée des interactions muscle-tendon

en conditions réelles de sprint, (iii) d'une planification perfectible de l'entraînement, notamment de la charge spécifique et/ou (iv) de méthodes de prévention dont l'efficacité a été insuffisamment démontrée. Ces constats renforcent le besoin d'une approche plus globale de la gestion de la blessure musculaire centrée sur le mouvement spécifique du sprint.

C'est avec l'ambition d'apporter des éléments de réponse à ces problématiques que le projet FULGUR a été construit en collaboration avec les fédérations françaises d'athlétisme, de rugby (Rugby à 7) et de sports de glace (Bobsleigh). Les sportives et sportifs de ces fédérations sont, en effet, engagés dans des disciplines où la vitesse maximale en sprint et les accélérations sont des facteurs clés de la performance et où l'exposition aux risques de blessures musculaires est particulièrement importante.

Basé sur le postulat que la planification d'un entraînement adapté aux propriétés musculo-squelettiques individuelles concourt à l'amélioration des capacités de résistance des tissus aux contraintes associées à la course à vitesse maximale, à l'amélioration de la performance et à la diminution du risque de blessures musculaires en sprint, ce travail vise à fournir aux entraîneurs des informations pertinentes dans une optique d'individualisation des contenus d'entraînement et de prévention.

« L'équipe de France de rugby à 7 a bénéficié d'un accompagnement scientifique privilégié, au travers du projet FULGUR, lors du cycle de préparation aux Jeux olympiques de Paris. Le profilage complet des joueurs et joueuses, au moyen des tests réalisés en laboratoire

et sur terrain, a permis de cibler les axes prioritaires d'entraînement et ainsi réduire le risque de blessure puis améliorer la performance en sprint. L'individualisation des entraînements des joueurs était ainsi au centre de notre projet. Nous avons ainsi pu observer que certains d'entre eux étaient déficients au niveau de la force des extenseurs de hanche ou encore de l'explosivité des fléchisseurs plantaires. »
(Julien Robineau, préparateur physique de l'équipe de France de rugby à 7 masculine)

“ Ce travail vise à fournir aux entraîneurs des informations pertinentes dans une optique d'individualisation des contenus d'entraînement et de prévention. ”

Un **consortium** composé de laboratoires leaders sur le plan international dans les domaines de la biomécanique, de l'entraînement musculaire et de l'imagerie médicale s'est donc constitué pour mener à bien le programme de recherche FULGUR. Depuis son démarrage officiel en janvier 2020, le projet s'organise autour de trois lots de travaux expérimentaux et deux lots de tâches transversales dont les objectifs scientifiques et les retombées pour les acteurs de la performance sportive sont présentés ci-après.

Lot de tâches 1 : Quantification de la charge mécanique en sprint

L'objectif de ce lot de tâches est de décrire la mécanique du sprint au niveau du centre de masse et des segments articulaires afin de quantifier la charge d'entraînement spécifique au sprint, à ces échelles, en conditions réelles d'entraînement, voire de compétition.

Dans le cadre de ce lot de tâches, des évaluations régulières de la relation

force-vitesse et charge-vitesse en sprint sont réalisées. Le protocole consiste pour la sportive ou le sportif à réaliser des sprints maximaux dans différentes conditions : sans charge, avec une charge légère et avec une charge élevée. Ces charges sont appliquées avec un système de résistance motorisé relié au sportif par un filin. Ces évaluations permettent de déterminer les qualités de force, de vitesse et de puissance de la sportive ou du sportif et de définir son profil de sprinter. Il est ensuite possible d'évaluer les performances et contraintes mécaniques impliquées durant l'entraînement au regard de ce profil de référence. Ce « profil force-vitesse » peut être déterminé à partir de mesures réalisées avec différents outils de terrain (laser, radar, système motorisé, GPS, cellules photoélectriques). Une des premières études réalisées dans le cadre de FULGUR a permis d'établir la validité, la reproductibilité et les limites de ces différentes méthodes (Fornasier-Santos *et al.*, 2022). Ainsi, ces évaluations peuvent être effectuées plusieurs fois dans la saison directement sur les sites d'entraînement ou en compétition, à partir du moment où un

sprint maximal est enregistré. Après chaque évaluation, un rapport individuel automatisé et connecté aux bases de données du projet FULGUR est transmis et présenté à l'athlète et son entraîneur. Ils peuvent ainsi comparer les paramètres d'intérêt issus du profil force-vitesse de l'athlète à des données de référence (aux autres athlètes élités de la même discipline) (Fig. 1). À partir de la relation charge-vitesse déterminée grâce au système de résistance motorisé, des préconisations de charges adaptées au développement spécifique de chaque capacité (force, puissance, vitesse) sont également proposées pour répondre aux besoins individuels de chaque sportive et sportif.

« Les données biomécaniques collectées dans le cadre de ce projet nous ont permis de mieux comprendre les profils force-vitesse-puissance et d'individualiser les charges de chaque sprinteur pour le développement spécifique de chacune de ces zones d'entraînement. Avec FULGUR, de nombreux entraîneurs ont pu être largement familiarisés aux méthodes d'évaluation des profils force-vitesse-puissance des athlètes, ce qui les a rendus autonomes en pôle pour répéter ces évaluations au fil des saisons. Grâce à une meilleure individualisation des contenus d'entraînement, nous espérons dans les années à venir être en mesure de réduire de manière significative le risque de récurrence des blessures musculaires, notamment au

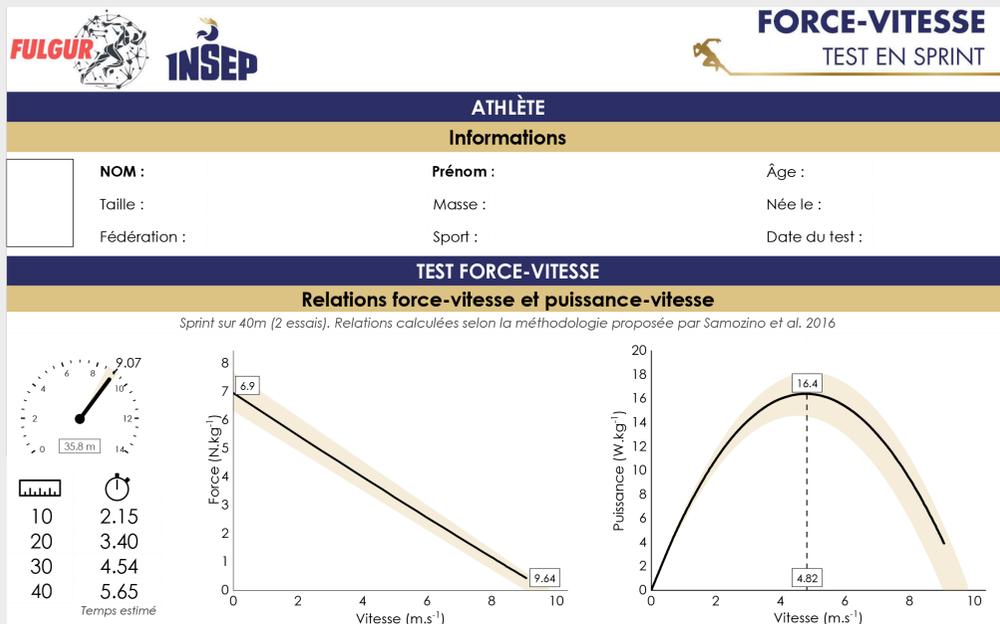


Figure 1 – Extrait d'un rapport Force-vitesse en sprint.

niveau des ischio-jambiers, qui sont particulièrement sollicités en sprint. » (Hugo Maciejewski, référent scientifique de la Fédération française d'athlétisme)

Afin de proposer des contenus d'entraînement spécifiques permettant de cibler ces secteurs, nous avons également mis en place une étude permettant de catégoriser mécaniquement un catalogue d'exercices (gammes) couramment utilisés dans l'entraînement en sprint.

En complément, des méthodes de suivi de la charge mécanique interne via la collecte du niveau d'effort perçu post-séance et une quantification de la charge externe sont mises en place, notamment par l'utilisation du GPS. L'utilisation du GPS est relativement ancrée aujourd'hui dans les sports collectifs. Les équipes de France de rugby à 7 impliquées dans le projet FULGUR en sont équipées et l'encadrement gère directement la quantification de la charge. Le projet FULGUR a permis de transposer progressivement ces pratiques à la caractérisation de la demande mécanique associée à la pratique du sprint en athlétisme. Il s'agit ici d'une évolution de paradigme majeure impulsée par le projet.

L'équipe FULGUR a ainsi équipé et suivi une vingtaine d'athlètes préparant les grandes échéances internationales. À l'issue de chaque séance, les athlètes et/ou l'encadrement transmettent le détail des exercices réalisés. Le signal GPS collecté est séquencé pour chaque phase de l'entraînement afin de mettre en relation les données mécaniques avec le contenu de l'entraînement et ainsi objectiver ces informations dans un rapport de séance individuel. Ces

rapports permettent de quantifier plusieurs paramètres décrivant la charge mécanique induite par la séance, dont certains ont été suggérés comme liés à l'exposition au risque de blessure (Duhig *et al.*, 2016) : nombre de kilomètres parcourus, durée de la séance, nombre de sprints générant une vitesse supérieure à 90 % de la vitesse maximale de sprint, nombre d'accélération supérieures à 3 m.s^{-2} . Ces rapports permettent aussi de comparer les efforts au sein d'une séance, entre deux séances ou encore avec des données de compétition. Ainsi, il est possible de mieux décrire ou de comparer l'effet de différents types de séances sur la charge et sur la mécanique du sprint. La compilation de chaque séance permet d'alimenter et de communiquer avec des bases de données vivantes et de proposer un suivi prospectif sur le plan de la charge d'entraînement spécifique. Des rapports hebdomadaires, trimestriels ou encore décrivant la mécanique du sprint en compétition peuvent aussi être produits à la demande.

« L'intégration des outils d'analyse fournis par le projet a bousculé notre suivi des athlètes en permettant une évaluation en temps réel des paramètres clés du sprint. Par exemple, le système de GPS et le dispositif de résistance motorisée (1080) nous permettent de suivre les performances, l'intensité des séances et plus globalement la charge d'entraînement dans les disciplines intégrant du sprint, chose qui était jusqu'à présent difficile à quantifier de manière précise. Avant FULGUR, nos évaluations se basaient principalement sur des ressentis et des observations visuelles. Aujourd'hui, nous disposons de rapports individualisés

qui nous indiquent précisément les charges optimales à appliquer pour chaque athlète en fonction de son profil. » (Hugo Maciejewski, référent scientifique de la Fédération française d'athlétisme)

« Le suivi quotidien du joueur de rugby, au moyen de la technologie GPS, a permis d'affiner la dynamique des charges d'entraînement à la fois en période de présaison mais aussi en période compétitive. Les indicateurs d'accélération et de distance sprintée sont très importants lors de la performance à l'entraînement et en match. » (Julien Robineau, préparateur physique de l'équipe de France de rugby à 7 masculine)

Lot de tâches 2 : Lien entre propriétés musculaires et performance en sprint

Ce lot de tâches consiste à étudier les relations entre les propriétés mécaniques musculaires, les coordinations musculaires et l'efficacité de la propulsion en sprint et le risque de blessure aux ischio-jambiers.

Le premier objectif de ce lot de tâches est d'étudier les relations entre les propriétés géométriques (volume, architecture) et mécaniques des muscles (force-vitesse, force-longueur) évaluées au niveau du membre inférieur (hanche, genou, cheville) et la performance évaluée au cours d'un sprint maximal (en lien avec le lot de tâches 1). En d'autres termes, les performances, notamment les profils force-vitesse-puissance, évaluées au cours des tâches de sprint, sont

comparées à ces mêmes profils obtenus lors d'évaluations mono-articulaires maximales réalisées dans des conditions standardisées (sur ergomètre) en laboratoire.

Les performances en sprint et lors des tests analytiques sont également mises en relation avec la morphologie musculaire de l'athlète. Après trois ans de développement en collaboration avec Nantes Université et l'École centrale de Nantes, la morphologie des muscles, en particulier les volumes musculaires, sont extraits au moyen de l'IRM via une segmentation automatique des muscles par intelligence artificielle (Piecuch *et al.*, 2023). Les examens IRM sont réalisés au centre d'imagerie de l'INSEP lors des évaluations annuelles des sportifs (Fig. 2).

Ce développement méthodologique constitue une avancée majeure puisqu'il offre la possibilité d'accéder au morphotype de l'athlète de manière accélérée (35 heures sont nécessaires à une segmentation manuelle contre quelques minutes avec cette technologie). Ajoutons que cet algorithme a été spécifiquement entraîné pour segmenter les muscles d'une population de sprinteuses et sprinteurs élités, ce qui en fait un outil unique en son genre. Ces



Figure 2 – a. IRM pôle imagerie INSEP ; b. Recorder

développements méthodologiques pourront être ré-appliqués pour d'autres populations (par ex. populations pathologiques). Compte tenu de l'importance croissante de ces informations pour estimer la performance d'une sprinteuse ou d'un sprinter, ou son exposition au risque de blessure, cet outil ouvre des perspectives de premier rang dans le domaine de l'individualisation de l'entraînement.

Les propriétés d'élasticité musculaires, tendineuses et articulaires de la chaîne postérieure de la cuisse sont également évaluées au cours d'un test fonctionnel global (*straight leg raise test*). Les propriétés élastiques locales de chacun des chefs des ischio-jambiers sont déterminées par une méthode appelée élastographie par onde de cisaillement. Cette méthode non invasive est sans effort pour le sportif. Elle renseigne sur la raideur du tissu musculaire en réponse à une contrainte (Fig. 3). Elle permet également de mesurer les modifications d'élasticité musculaire induites notamment par la cicatrisation post-blessure, qui est supposée accroître la raideur du muscle. Ces informations peuvent éclairer l'entraîneur sur les contenus de renforcement

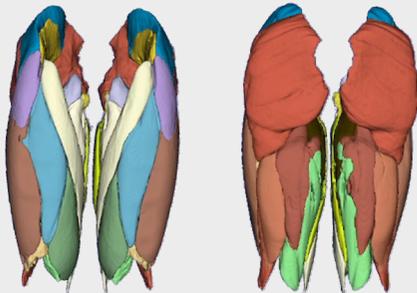
musculaire ou d'étirements à mettre en place pour augmenter ou diminuer la raideur des muscles cibles.

Comme pour le lot 1, ces évaluations sont proposées annuellement aux sportives et sportifs participant au projet. Des rapports automatisés individuels sont présentés et discutés avec les préparateurs physiques et kinésithérapeutes afin de proposer des pistes d'optimisation des qualités musculaires et de prévention des blessures. Chaque paramètre quantifié alimente des bases de données vivantes, c'est-à-dire mises à jour après chaque évaluation.

« Les innovations du projet, notamment l'élastographie par onde de cisaillement, ont transformé notre approche de la rééducation post-blessure. Nous disposons désormais d'un outil pour mesurer la raideur musculaire de chaque chef des ischio-jambiers et ajuster les programmes de renforcement et de mobilité en fonction des besoins spécifiques de chaque athlète. À l'avenir, ces informations seront extrêmement précieuses, car elles pourraient permettre au staff technique de mieux gérer la phase de retour à l'entraînement et de limiter le risque de rechute. » (Hugo Maciejewski, référent scientifique de la Fédération française d'athlétisme)

Vue antérieure

Vue postérieure



stitution des volumes musculaires par IA.

Le deuxième objectif du lot de tâches 2 est d'examiner les coordinations musculaires entre les quadriceps, les ischio-jambiers et les fessiers lors de contractions mono-articulaires, et pendant le sprint en course à pied. Ces analyses permettent de déterminer la contribution de chaque muscle à l'extension et à la flexion du genou et

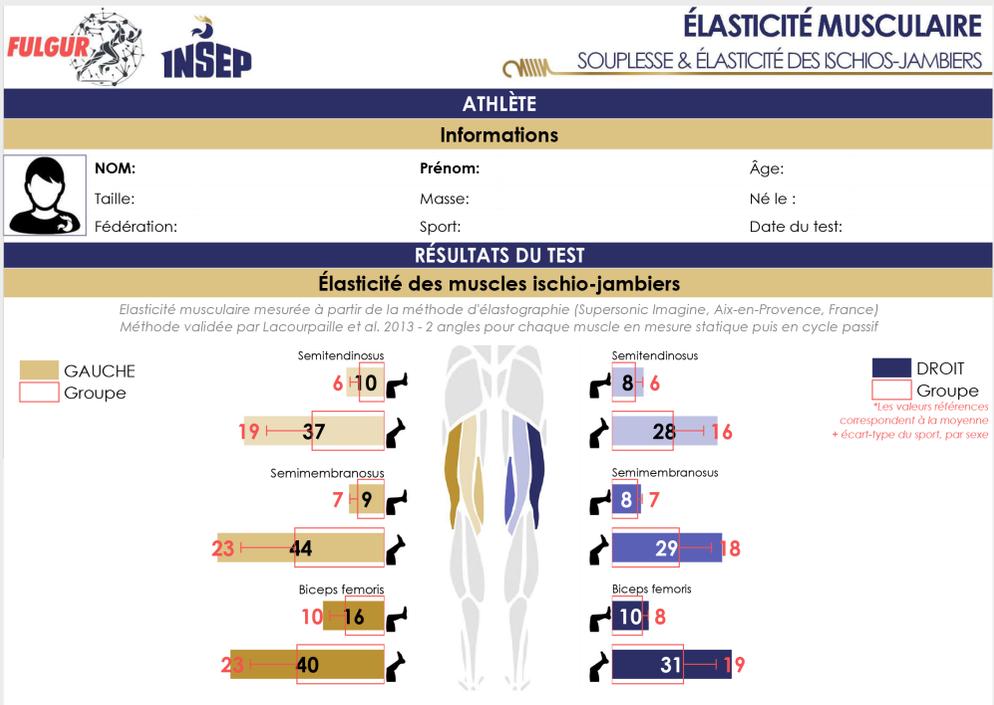


Figure 3 – a. Photographie de mesures des propriétés élastiques du muscle par élastographie ; b. Extrait du rapport d'élasticité.

de la hanche, et leur contribution à la performance en sprint. L'équilibre entre les contributions de chaque chef musculaire est étudié comme un facteur de performance, et reconnu comme lié à l'exposition au risque de blessure (Schuermans *et al.*, 2014 ; Avrillon *et al.*, 2018, 2020). Ces informations sont donc essentielles pour les entraîneurs pour concevoir des programmes de renforcement musculaire en fonction des muscles spécifiques à développer et/ou renforcer. Là encore, des rapports sont maintenant générés à chaque test pour les entraîneurs et athlètes.

En lien avec le lot 1, l'effet de la vitesse de mouvement et de la charge résistive en sprint sur les coordinations est également évalué. Plus la vitesse en sprint augmente, plus le groupe musculaire des ischio-jambiers est activé. À l'inverse, plus une charge résistive importante est appliquée en sprint, moins l'activation des ischio-jambiers sera importante. Cette étude permet de faire prendre conscience de ces résultats aux entraîneurs qui pouvaient jusqu'ici avoir une représentation allant à l'inverse (augmentation de l'activité de tous les muscles avec la charge).

Afin d'aller au bout de cette démarche, le consortium a développé une plate-forme représentant de manière interactive l'ensemble des données disponibles dans la littérature, relatives aux coordinations musculaires engagées lors de la réalisation d'exercices de renforcement musculaire des extenseurs de hanche. Cette plate-forme rend compte des distributions des activations musculaires entre les différents chefs des extenseurs de hanche, qui varient en fonction de l'exercice réalisé. Cet outil est accessible pour les entraîneurs impliqués

dans le projet, ce qui leur permet de prendre des décisions éclairées quant aux exercices à privilégier au regard des besoins individuels des sportifs qu'ils entraînent. Les fonctionnalités de la plate-forme ont été partagées lors des colloques fédéraux et assises réunissant les entraîneurs nationaux. À la demande de Christine Hanon (référente scientifique de la Fédération française d'athlétisme jusqu'en 2023), un poster a par exemple été réalisé et exposé lors des championnats de France d'athlétisme élite à Albi du 24 au 26 juin 2022 (Fig. 4).

Les données collectées dans le cadre du lot 2 peuvent aussi permettre de répondre a posteriori à des questions émergentes des entraîneurs nationaux. Par exemple, il serait possible d'explorer l'effet du type de pointes (classiques vs carbonées) sur les données précédemment collectées (données de force, données de coordinations et synergies musculaires, temps de vol, temps de contact, etc.).

“ Ces informations sont donc essentielles pour les entraîneurs pour concevoir des programmes de renforcement musculaire en fonction des muscles spécifiques à développer et/ou renforcer. ”



ACTIVATION DES ISCHIO-JAMBIERS EN RENFORCEMENT MUSCULAIRE

Soulevé de terre

VS.

Nordic Hamstring



COORDINATIONS

Pourcentage d'activation des chefs des ischio-jambiers
Moyenne + écart-type



Exercice sollicitant principalement le SM et le ST



Exercice sollicitant principalement le ST au début du mouvement et le BFI en fin de mouvement

VARIATIONS

Flexion du genou
Ceinture russe avec
inclinaison des pieds

⇒ ↑ ST

Sur une jambe

⇒ ↑ SM

VARIATIONS

De 45° jusqu'en extension complète
Allègement
Flexion de hanche

⇒ ↑ BFI

Balancier des bras avec un poids à
l'inversion

⇒ ↑ SM

19

REFERENCES

Nombre d'articles dont sont issues les données sources

15

Contact : fulgur@insep.fr

Figure 4 – Activation des différents chefs des ischio-jambiers en soulevé de terre et *nordic hamstring* d'après des données issues de la littérature.

Lot de tâches 3 : Approche multifactorielle de la prévention des blessures

Les objectifs de ce lot de tâches sont de mieux comprendre les facteurs liés à la survenue des blessures et de proposer des stratégies pour limiter leur incidence.

En plus des facteurs physiques collectés dans les lots 1 et 2, le lot 3 s'intéresse aux facteurs psychologiques et habitudes de vie (sommeil, hydratation, nutrition). Les sportives et sportifs renseignent, au moment des évaluations annuelles, un

questionnaire pour déterminer leurs profils psychologiques vis-à-vis de la performance et de la blessure. Les questions portent, par exemple, sur l'anxiété, la motivation, l'impulsivité ou encore la capacité à réguler des émotions. Un rapport individualisé est proposé au sportif.

C'est également dans le cadre de ce lot de tâches que sont collectés les historiques de blessure des sportives et sportifs depuis le début de leur carrière via un questionnaire. Ces données peuvent être complétées par les équipes médicales et sont archivées dans les bases de données du projet de manière automatisée tout au long du processus de

collecte. Ces données ont permis de mettre à jour les connaissances sur l'épidémiologie des sportives et sportifs en athlétisme, rugby à 7 et bobsleigh (Fig. 5) et peuvent guider les mesures de prévention chez ces populations.

Les liens entre les historiques de blessures et les facteurs de risques liés aux comportements ont aussi pu être analysés. Par exemple, les sportives et sportifs présentant un niveau élevé de gravité et d'apparition soudaine de blessure montrent des scores élevés de motivation intrinsèque, d'anxiété, d'impulsivité et des scores faibles de motivation extrinsèque et de difficultés de régulation des émotions. Ces éléments renforcent l'importance d'une prise en charge individualisée et globale des athlètes,

qui tient compte des aspects psychologiques en plus de la dimension physique.

Le lot 3 propose de suivre au quotidien les facteurs et les comportements liés au risque de blessures musculaires. Grâce à une application smartphone (Athlète360), les athlètes renseignent de manière biquotidienne des informations sur leur état émotionnel (motivation, anxiété), leur état de forme (niveau de perception de l'effort post-séance, fatigue) et sur leurs habitudes alimentaires (par ex. hydratation). Le sportif peut suivre au quotidien l'évolution de chaque paramètre sur des tableaux de bord. Les équipes encadrantes peuvent suivre l'état de forme global de chaque sportif. Via l'application, les sportifs peuvent aussi indiquer la survenue d'une nouvelle

Les blessures liées à la pratique du sprint élitte en France

96% blessés au moins une fois dans leur carrière

62% blessés au cours de l'année écoulée

CARACTERISTIQUES DES BLESSURES

- Localisation** | ischio-jambiers (33%)
- Lésion** | musculaire (49%)
- Circonstance** | entraînement (70%)
- Survenue** | brutale (67%)
- Mécanisme** | non-identifiable (50%)
- Sévérité** | moyenne (37%)



Figure 5 – Infographie issue de Edouard *et al.* (2023).

blessure. À partir des données collectées de manière biquotidienne, l'équipe FULGUR a développé des algorithmes permettant de prédire la survenue des blessures (Tondut *et al.*, 2023). Ces algorithmes doivent être améliorés, et le taux de réponse des sportifs doit être le plus élevé possible avant qu'ils puissent être utilisés pour guider les entraînements, mais cette approche représente une avancée très importante dans le domaine de la prévention des blessures.

Sur la base des données collectées pour un athlète pendant une période de référence de plusieurs mois, en collaboration avec cet athlète et son encadrement, il est possible de développer des stratégies et de proposer des conseils individualisés pour tenter de réduire le risque de blessure. Chaque jour et en fonction de l'évolution par rapport aux jours précédents et à la période de référence, un message est proposé à l'athlète directement dans l'application, soit pour l'alerter sur d'éventuels comportements à risque et lui suggérer des recommandations pour tenter d'améliorer ses pratiques, soit pour renforcer ses bons comportements.

« L'approche holistique du projet Fulgur a également permis de prendre en compte les états de forme des joueurs dans leur globalité en intégrant les données de douleurs musculaires, de sommeil, d'hydratation, de niveau de stress et d'anxiété, etc. Ce suivi longitudinal, permettant de mettre en relation les états de forme avec les charges d'entraînement, aura également été bénéfique pour réduire le nombre de blessures et optimiser les qualités physiques neuromusculaires. » (Julien Robineau, préparateur physique de l'équipe de France de rugby à 7 masculine).

L'ultime tâche de ce dernier lot expérimental consiste en l'analyse croisée de l'ensemble des données collectées dans le projet. Les bases de données du projet contenant les indicateurs collectés dans les lots 1, 2 et 3 sont analysées à l'aide de méthodes statistiques et d'intelligence artificielle.

Comme pour les autres lots de tâches, les données collectées permettent de répondre à de nouveaux questionnements des entraîneurs. Les données d'état de forme peuvent, par exemple, permettre d'estimer les délais d'adaptation nécessaires et la charge mentale imposée aux sportifs qui se déplacent régulièrement sur plusieurs fuseaux horaires, générant des dérèglements chronobiologiques.

Lot de tâches transversal 1 : Accélération de l'analyse de l'imagerie musculo-squelettique et vidéos sans marqueurs

L'objectif de ce lot de tâches transversal est d'utiliser des techniques de vision artificielle et d'apprentissage automatique pour accélérer l'analyse (i) des méthodes d'imagerie des muscles squelettiques et (ii) des mouvements corporels.

Afin de répondre au premier objectif, le CEA a développé un logiciel d'annotation intelligent d'images musculaires obtenues par échographie. Cette technologie permet d'accéder à des paramètres qui décrivent la géométrie du muscle, notamment l'épaisseur de leurs enveloppes (aponévroses) ou encore la longueur des faisceaux de

fibres musculaires, qui sont des indicateurs morphologiques qui peuvent être liés au risque de blessure (Michard *et al.*, 2021).

L'équipe FULGUR a également fait évoluer les séquences d'élastographie par ultrasons, utilisées et décrites dans le lot de tâches 2, pour mesurer l'élasticité des régions musculaires particulièrement exposées aux blessures. En effet, cette méthode était jusqu'ici valide pour le corps (ou la partie centrale) du tissu musculaire. Or, les blessures touchent principalement les tissus tendineux (fascia, aponévroses, jonction myo-tendineuse). Une approche spécifique de caractérisation de ce type de tissus a donc été développée, afin d'évaluer l'élasticité de cette partie spécifique des muscles (Beuve *et al.*, 2021).

En ce qui concerne la capture de mouvement basée sur de la vidéo sans marqueurs, l'objectif est de développer un modèle précis d'estimation du squelette en 3D à partir d'un système multi-caméras synchrone faiblement calibré et simple à installer (Galizzi *et al.*, 2023). Des squelettes 3D sont estimés dans chacun des points de vue et fusionnés à l'aide d'un réseau de neurones. À partir du squelette 3D, des données cinématiques sont obtenues de manière non invasive : déplacement du centre de masse, temps de vol, temps de contact, vitesse et accélération angulaire, etc., qui peuvent être couplées avec les données de performance en sprint collectées dans le lot 1.

Ces avancées technologiques pourraient avoir un impact conséquent sur la capacité des entraîneurs à analyser la technique de sprint en temps réel sur la base d'indicateurs objectifs reflétant la cinématique du centre de masse et des articulations. Le caractère pleinement non invasif et la

facilité de mise en place des caméras sont autant d'avantages qui confèrent un intérêt pratique déterminant dans l'application de la technologie. Elle permet d'envisager des applications en situation de compétition.

Lot de tâches transversal 2 : Transfert innovant de savoir à destination des acteurs de la performance

L'objectif de ce dernier lot de tâches transversal est de s'assurer que l'ensemble des connaissances, outils et compétences développés dans le cadre du projet FULGUR bénéficie en premier lieu aux fédérations sportives impliquées dans le projet. L'ensemble du consortium FULGUR est donc mobilisé pour diffuser les savoirs et les connaissances auprès des acteurs de la performance sportive (sportifs, entraîneurs, préparateurs physiques, médecins, kinésithérapeutes, etc.), notamment au travers de la production et de l'explication des différents rapports mentionnés pour chaque lot de tâches, de la formation aux outils d'évaluation et de suivi de l'entraînement (par ex. sprint avec résistance motorisée, GPS, athlète 360), l'organisation et la participation à des rencontres et des séminaires ou encore à la rédaction d'articles scientifiques et techniques, etc.

Après quatre années, à l'issue du projet, de nombreuses données ont été collectées, comme l'illustre la Figure 6. Ces données, complexes à éclairer compte tenu des contraintes des sportifs des équipes de France, pour certaines toujours en cours d'analyse, donneront lieu à des publications

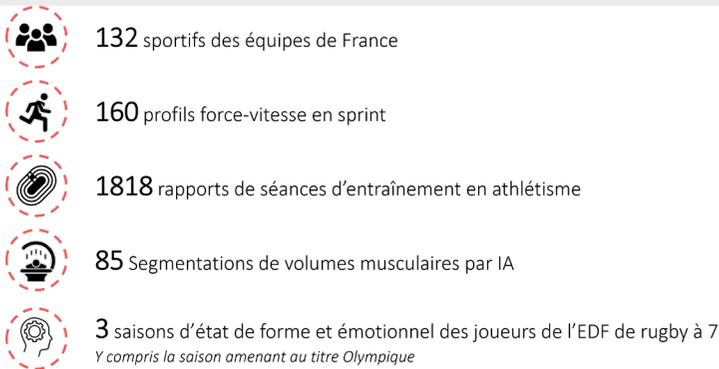


Figure 6 – Quelques chiffres bilan des données collectées dans FULGUR.

scientifiques visant à repousser les limites des connaissances au service de la préservation de la santé et de l'optimisation de la performance des sprinters. Les connaissances nouvelles issues de ce projet seront ainsi disponibles pour d'autres sportifs (élites ou non). Au-delà des objectifs scientifiques, le projet FULGUR a permis aux fédérations impliquées de monter en compétence dans leur capacité à prendre des décisions éclairées par des données et des connaissances scientifiques pour l'aide à l'entraînement. La réussite de FULGUR résonnera dans la capacité des acteurs sportifs à intégrer les outils d'aide à la décision développés dans le cadre du projet, afin d'optimiser la performance en sprint et de réduire le risque de blessure chez les athlètes ayant participé aux Jeux olympiques de Paris 2024 et qui participeront aux futures olympiades.

Bibliographie

Avrillon, S., Guilhem, G., Barthelemy, A. et Hug, F. (2018). Coordination of hamstrings is individual specific and is related to motor performance. *Journal of applied physiology*,

125(4), 1069-1079. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00133.2018>

Avrillon, S., Hug, F. et Guilhem, G. (2020). Bilateral differences in hamstring coordination in previously injured elite athletes. *Journal of applied physiology*, 128(3), 688-697. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00411.2019>

Beuve, S., Flandin, A., Nordez, A., Lacourpaille, L., Hug, F., Le Galèze, R., Guilhem, G. et Gennisson, J.-L. (2021). Quantification of elastic properties of Achilles tendon: a first step to explore muscle-tendon structures exposed to substantial injury incidence. *2021 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)* (p. 1-4). Xi'an, China. <https://doi.org/10.1109/IUS52206.2021.9593422>

Duhig, S., Shield, A. J., Opar, D., Gabbett, T. J., Ferguson, C. et Williams, M. (2016). Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk. *British journal of sports medicine*, 50(24), 1536-1540. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095679>

Edouard, P., Caumeil, B., Giroux, C., Bruneau, A., Tondut, J., Navarro, L., Hanon, C., Guilhem, G. et Ruffault, A. (2023). Epidemiology of injury complaints in elite sprinting athletes in

athletics (Track and Field). *Applied Sciences*, 13(14), 8105. <https://doi.org/10.3390/app13148105>

Florentino, N. M., Rehorn, M. R., Chumanov, E. S., Thelen, D. G. et Blemker, S. S. (2014). Computational models predict larger muscle tissue strains at faster sprinting speeds. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(4), 776-786. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000172>

Fornasier-Santos, C., Arnould, A., Jusseaume, J., Millot, B., Guilhem, G., Couturier, A., Samozino, P., Slawinski, J. et Morin, J.-B. (2022). Sprint acceleration mechanical outputs derived from position- or velocity-time data: a multi-system comparison study. *Sensors*, 22(22), 8610. <https://doi.org/10.3390/s22228610>

Galizzi, V., Amiot, A., Hegyi, A., Morales, A., Guilhem, G. et Luvison, B. (2023). *AI-driven sprint kinematics analysis using sagittal video footage for high-performance sprinting* [communication par affiche]. ECSS, Paris, France, juillet 2023.

Katagiri, H., Forster, B. B., Engebretsen, L., An, J. S., Adachi, T., Saida, Y., Onishi, K. et Koga, H. (2022). Epidemiology of MRI-detected muscle injury in athletes participating in the Tokyo 2020 Olympic Games. *British journal of sports medicine*, 57(4), 218-224. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105827>

Michard, H., Bertrand, L., Quoc-Cuong, P., Morales-Artacho, A. J. et Guilhem, G. (2021). AW-Net: automatic muscle structure analysis on B-mode ultrasound images for injury prevention. BCB '21: *Proceedings of the 12th ACM Conference on Bioinformatics, Computational Biology, and Health Informatics* (p. 1-9). ACM. <https://doi.org/10.1145/3459930.3469531>

Piecuch, L. et al. (2023). Muscle volume quantification: guiding transformers with anatomical priors. Dans C. Wachinger, B. Paniagua, S. Elhabian, J. Li et J. Egger (dir.), *Shape in medical imaging. ShapeMI 2023. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 14350. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46914-5_14

Schuermans, J., Van Tiggelen, D., Danneels, L. et Witvrouw, E. (2014). Biceps femoris and semitendinosus—teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study. *British journal of sports medicine*, 48(22), 1599-1606. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094017>

Soligard, T., Palmer, D., Steffen, K., Lopes, A. D., Grek, N., Onishi, K., Shimakawa, T., Grant, M. E., Mountjoy, M., Budgett, R. et Engebretsen, L. (2023). New sports, COVID-19 and the heat: sports injuries and illnesses in the Tokyo 2020 Summer Olympics. *British journal of sports medicine*, 57. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106155>

Tondut, J., Dandrieux, P.-E., Caumeil, B., Ruffault, A., Giroux, C., Guilhem, G., Navarro, L. et Édouard, P. (2023). Estimation du risque de blessures en utilisant le *machine learning* basée sur le *monitoring* de la perception des états physiques et mentaux des athlètes : étude préliminaire sur 110 athlètes de haut niveau suivis sur une période de 18 mois. *Journal de Traumatologie du Sport*, 8148(2), 74-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jts.2023.04.002>

Hypoxie et Performance 2024

*Un projet émergeant
de « questions de terrain »
pour améliorer le soutien
scientifique dans le champ
du stress environnemental*

Franck Brocherie

Laboratoire Sport, expertise et performance (UR 7370),
Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP), Paris

Julien Brugniaux

Laboratoire Hypoxie physiopathologie cardiovasculaire et respiratoire
(HP2, INSERM U1042), Université Grenoble Alpes

Phillipe Connes

Laboratoire inter-universitaire de biologie de la motricité (LIBM, UR 7424),
Université Claude Bernard Lyon 1

Stéphane Dufour

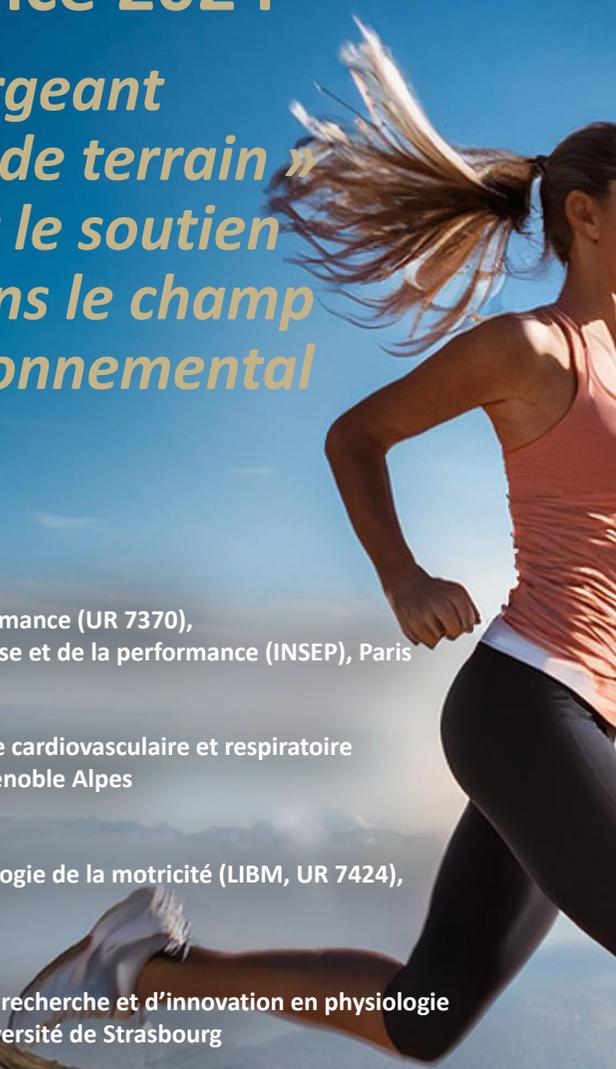
Centre européen d'enseignement, de recherche et d'innovation en physiologie
de l'exercice (CEERIPE, UR 3072), Université de Strasbourg

Anne-Fleur Gaston

Laboratoire interdisciplinaire performance santé environnement de montagne
(LIPSEM, UR 4604), Université de Perpignan Via Domitia

Philippe Gimenez

Laboratoire Culture, sport, santé, société (C3S, UR 4660), UFR STAPS Besançon,
Université de Franche-Comté





Grégoire P. Millet

Université de Lausanne, Suisse

Elie Nader

Laboratoire inter-universitaire de biologie de la motricité (LIBM, UR 7424),
Université Claude Bernard Lyon 1

Aurélien Pichon

Laboratoire MOVE (UR 20296), UFR STAPS Poitiers, Université de Poitiers

Paul Robach

École nationale des sports de montagne (ENSM), Chamonix

Xavier Woorons

Association pour la recherche et la promotion de l'entraînement
en hypoventilation (ARPEH), Lille

Le projet Hypoxie et Performance 2024 bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-20-STHP-0002.

Genèse et objectifs du projet

Plus connu sous son acronyme HYPOXPERF, « **Hypoxie et Performance 2024** » (voir encadré) est un projet émergent d'une réflexion collégiale entre les entraîneurs et athlètes utilisant l'altitude dans leur processus de préparation et les scientifiques experts du domaine et/ou impliqués dans l'accompagnement scientifique qui œuvrent auprès d'eux. Le leitmotiv du projet est de répondre à des « questions de terrain » pour améliorer le soutien scientifique aux entraîneurs et athlètes français dans le champ de l'hypoxie et dans leur préparation aux Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024.

En effet, depuis les Jeux olympiques de Mexico en 1968, l'évolution technologique et les avancées scientifiques ont contribué au développement de différentes méthodes d'entraînement hypoxique. Les méthodes les plus couramment utilisées sont les stages en altitude du type « vivre et s'entraîner en altitude » (LHTH) ou « vivre en altitude et s'entraîner au niveau de la mer » (LHTL), induisant des expositions dites chroniques (> 12-14 heures par jour) et favorisant des adaptations principalement hématologiques (notamment la stimulation de la production des globules rouges). D'autres méthodes plus modernes telles que l'entraînement de la force (RTH) ou de répétition de sprints en hypoxie (RSH) s'appuient sur des expositions aiguës à l'hypoxie et visent des adaptations centrales et périphériques optimisant le transport et l'utilisation de l'oxygène par l'organisme. Ces méthodes récentes sont maintenant applicables à plusieurs sports, qu'il s'agisse de disciplines d'endurance ou de sports intermittents (sports collectifs, sports de raquettes, sports de combat). C'est

entre autres ce qui a conduit les nations du Top-5 des derniers Jeux olympiques à y recourir pour maximiser les performances de leurs athlètes. Ces différentes stratégies d'entraînement hypoxique sont décrites dans le panorama des méthodes d'entraînement en altitude/hypoxique (Brocherie, Girard et Millet, 2017).

Toutefois, l'efficacité de ces méthodes est encore discutée/discutable (Millet et Brocherie, 2020 ; Siebenmann et Dempsey, 2020), notamment en raison de leur mise en œuvre en termes de planification et de suivi des facteurs tels que la dose hypoxique, les charges d'entraînement, la fatigue induite, mais également de la variabilité individuelle des réponses à ces différents facteurs confondants. De plus, le temps de maintien de ces adaptations en vue d'optimiser les performances une fois la stimulation hypoxique terminée reste mal connu. Autant d'éléments importants, encore trop peu étudiés dans la littérature scientifique, laissant parfois les entraîneurs, staffs et accompagnateurs scientifiques avancer sur la seule base de leur expérience empirique.

“... l'évolution technologique et les avancées scientifiques ont contribué au développement de différentes méthodes d'entraînement hypoxique.”

Membres du consortium HYPOXPERF :



Association pour la recherche et la promotion de l'entraînement en hypoventilation (ARPEH) : Xavier Woorons ; Laboratoire Culture, sport, santé, société (C3S, UR 4660), UFR STAPS Besançon, Université de Franche-Comté : Philippe Gimenez, Alain Gros Lambert, Sidney Grosprêtre, Thibaud Mihailovic, Thibaud Pirlot, Célia Ruffino ; Laboratoire Hypoxie physiopathologie cardiovasculaire et respiratoire (HP2, INSERM U1042), Université Grenoble Alpes : Julien Brugniaux, Stéphane Doutreleau, Samuel Vergès ; Laboratoire MOVE (UR 20296), UFR STAPS Poitiers, Université de Poitiers : Olivier Dupuy, Corentin Faucher, Aurélien Pichon ; Laboratoire interdisciplinaire performance santé environnement de montagne (LIPSEM, UR 4604) et Images Espace-Dev (IED, UMR 228), Université de Perpignan Via Domitia : Fabienne Durand, Éric Fruchart, Anne-Fleur Gaston, Henri Meric, Florence Riera, Samira El Yacoubi ; Laboratoire inter-universitaire de biologie de la motricité (LIBM, UR 7424), Université Claude Bernard Lyon 1 : Romain Carin, Philippes Connes, Elie Nader, Thomas Rupp, Vincent Pialoux ; Centre européen d'enseignement, de recherche et d'innovation en physiologie de l'exercice (CEERIPE, UR 3072), Université de Strasbourg : Julien Blaess, Mourad Boukhari, Stéphane Dufour, Irina Enache, Charles Evrard, Fabrice Favret, Elyse Hucteau, Thomas Hureau, Yao Kouassi, Nabil Kouzkouz, Joris Mallard, Anasthase Massamba, Cristina Pisteu, Allan Pagano ; École nationale des sports de montagne (ENSM) : Paul Robach ; Centre national d'entraînement en altitude (CNEA) : Grégory Doucende, Jérôme Lacroix ; Laboratoire Sport, expertise et performance (SEP, UR 7370) et pôle Médical de l'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP) : Janne Bouten, Franck Brocherie, Sébastien Le Garrec, Antonio Morales-Artacho, Jean-Paul Richalet ; Fédération française de canoë-kayak (FFCK) : Philippe Colin, Rémi Gaspard ; Fédération française de cyclisme (FFC) : Emmanuel Brunet, Sandrine Guironnet ; Fédération française de judo, jujitsu, kendo et disciplines associées (FFJDA) : Paul-Thierry Pesqué ; Fédération française de lutte et disciplines associées (FFLDA) : Patrick Vazeille ; Fédération française de natation (FFN) : Robin Pla ; Fédération française de rugby (FFR) : Julien Piscione ; Société Inside the Athletes 3.0 : Romain Bouzigon.

Dès lors, par l'intermédiaire d'études pluridisciplinaires appliquées, le projet HYPOXPERF vise à :

- Identifier les réponses hypoxiques individuelles et proposer un entraînement en altitude/hypoxique adapté pour s'acclimater plus rapidement et/ou renforcer/maintenir les gains plus longtemps grâce à l'utilisation d'expositions ou d'exercices hypoxiques additionnels ;
- Valider des méthodes d'acclimatation et/ou d'entraînement hypoxiques combinées ou successives, afin de maximiser les

performances physiques et psychologiques en fonction de la demande sportive ;

- Examiner la possibilité d'éventuelles adaptations croisées entre différents stress environnementaux, tels que l'hypoxie, la chaleur et/ou le froid, ou leur combinaison, afin d'optimiser les adaptations psychophysiological attendues en réponse à un ou plusieurs facteurs de stress environnementaux.

Le projet s'appuie sur trois lots de travail (*work packages*, WP), soutenus par une approche transversale (WP4) proposant

des outils de mesure communs aux WPs 1-3 s'appuyant sur les données récoltées pour approfondir le suivi et la prédiction des réponses au stress environnemental, avec une attention particulière sur les réponses en fonction du sexe (Jeton *et al.*, 2017 ; Raberin *et al.*, 2023 ; Burtscher *et al.*, 2023) (Fig. 1).

Comprendre le moment optimal pour programmer un camp d'entraînement en

altitude/hypoxie, ses effets physiologiques et psychologiques à court, moyen et long terme, et individualiser la dose hypoxique en fonction de la tolérance de chaque athlète sont des éléments clés qui doivent être fournis aux entraîneurs et aux athlètes. Ces derniers étant susceptibles d'avoir leur propre signature d'adaptation et/ou de déclin une fois revenus au niveau de la mer, mieux appréhender les adaptations

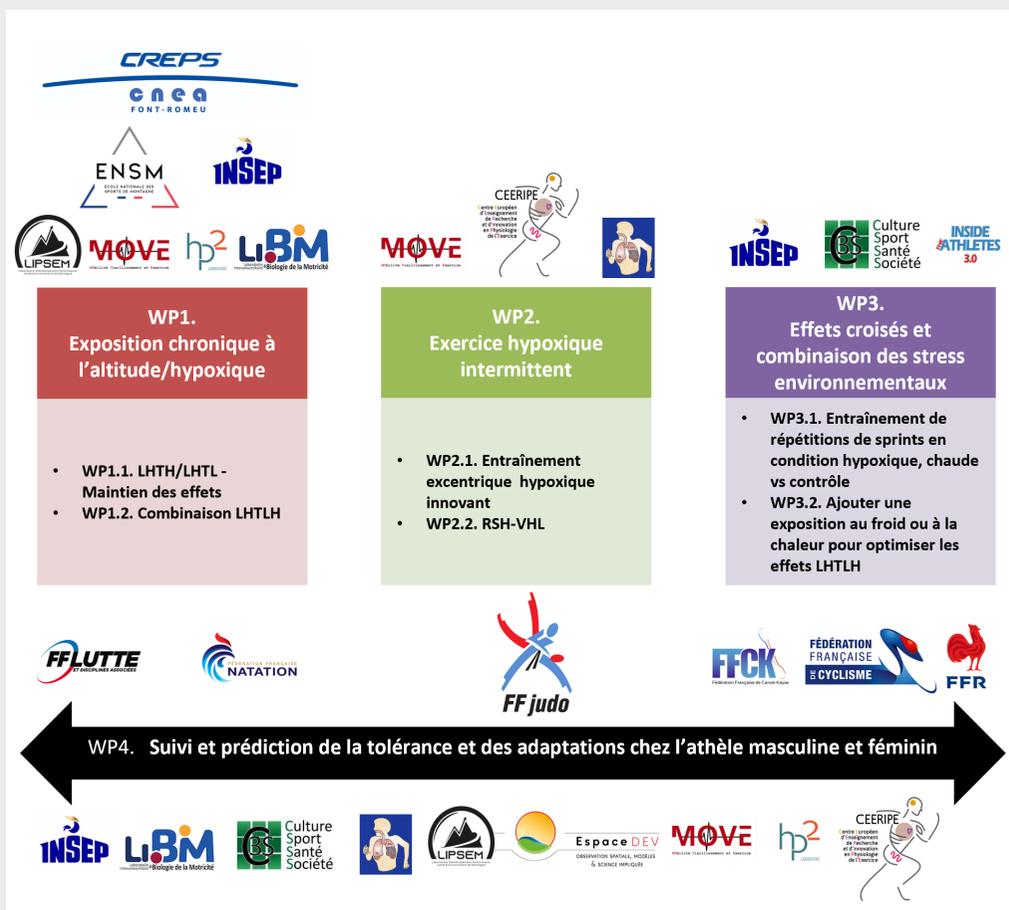


Figure 1 – Les lots de travail du projet HYPOXPERF.

hématologiques et non hématologiques (par ex., neuromusculaires, métaboliques, biochimiques) et leurs cinétiques de dégradation contribuera à l'optimisation des gains potentiels et à leur maintien. Compte tenu du stress supplémentaire imposé par l'hypoxie, l'accompagnement scientifique est capital pour gérer les charges hypoxiques et d'entraînement afin de maximiser les réponses psychophysiologiques tout en évitant tout risque de désentraînement ou de surentraînement. De même, les effets de la répétition d'expositions hypoxiques au cours d'un cycle annuel (saison) ou pluriannuel (cycle olympique de quatre ans) sur la performance ont été peu étudiés, tout comme les mécanismes relatifs à la pré-acclimatation et/ou à l'extension des adaptations post-hypoxiques (Mujika, Sharma et Stellingwerff, 2019). Il est également nécessaire de mieux identifier les méthodes hypoxiques susceptibles d'accélérer les adaptations physiologiques et/ou de permettre aux athlètes de maintenir ces adaptations pendant une période plus longue.

Enfin, la combinaison de méthodes hypoxiques avec des exercices plus difficiles (par ex., du travail musculaire excentrique) et/ou l'utilisation de différents facteurs de stress environnementaux (par ex., la chaleur, le froid) sont des pistes prometteuses à explorer. En fonction des exigences spécifiques d'un sport donné et des besoins des athlètes, l'application de différentes méthodes d'entraînement hypoxique pourrait être bénéfique pour l'acclimatation (réduction du temps d'acclimatation, augmentation des charges hypoxiques et/ou d'entraînement tout en limitant l'apparition de la fatigue), pendant – par ex., « vivre en

altitude et s'entraîner au niveau de la mer et en altitude » (LHTLH) (Brocherie *et al.*, 2015) ou son inverse (LHTHL) (Rodriguez *et al.*, 2015) –, après un stage d'entraînement en altitude/hypoxique, ou utilisé indépendamment au cours de la saison. L'utilisation de différents facteurs de stress environnementaux tels que la chaleur, le froid et l'hypoxie semble également intéressante en termes d'effets croisés (transfert de l'adaptation d'un facteur de stress à un autre) (White *et al.*, 2014 ; Gibson *et al.*, 2017), ou d'effets combinés de stress environnementaux (Sotiridis, Debevec et Mekjavic, 2018) ou de stress liés à l'exercice (Dufour *et al.*, 2004). Les questions relatives à ces différents effets croisés ou possibilités de combinaisons méritent d'être examinées.

Un consortium expérimenté et complémentaire

Pour répondre à ces différents objectifs, le projet HYPOXPERF, porté par le laboratoire Sport, expertise et performance de l'INSEP, s'appuie sur un consortium expérimenté et complémentaire regroupant trois centres d'entraînement membres du réseau Grand INSEP, six universités, une association et une entreprise, qui ont accompagné pas moins de six fédérations (canoë-kayak, cyclisme, judo, lutte, natation et rugby) afin d'optimiser la préparation des athlètes sélectionnés pour les Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024 (Fig. 2).

Le projet HYPOXPERF s'inscrit dans le cadre des missions historiques d'accompagnement de l'INSEP et du réseau Grand INSEP qui visent à disséminer les connaissances et le « savoir-faire » au niveau

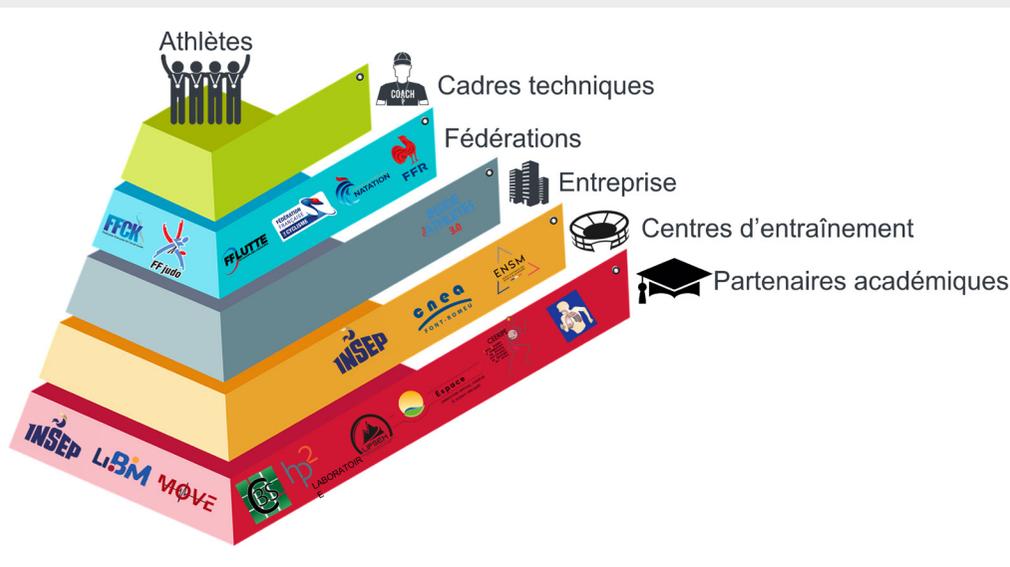


Figure 2 – Consortium du projet HYPOXPERF.

national. L'expertise du consortium repose sur des chercheurs reconnus dans le champ de l'entraînement en altitude/hypoxie et ayant, pour la plupart d'entre eux, plusieurs années d'expérience d'accompagnement scientifique dans des sports individuels et/ou collectifs (par ex., préparation de championnats d'Europe, du monde ou Jeux olympiques). Fort de travaux scientifiques issus d'interactions avec des entraîneurs et menés avec des athlètes de haut niveau (Brocherie *et al.*, 2015 ; Schmitt *et al.*, 2006 ; Woorons *et al.*, 2016 ; Beard *et al.*, 2019), les expérimentations du projet HYPOXPERF ont été co-construites avec les staffs des équipes nationales pour être menées prioritairement en condition « écologique » sur les différents centres d'entraînement et avec les fédérations impliquées.

Sur l'ensemble des lots de travail, la population initialement ciblée est conforme au projet initial même si, parfois, il a fallu pallier des impératifs organisationnels (changement de gouvernance ou d'encadrement technique au sein de certaines fédérations) et calendaires (replanification du calendrier international des compétitions) et élargir le recrutement à des groupes d'athlètes de haut niveau mais non postulants aux Jeux olympiques (catégorie relève) ou issus d'autres fédérations (Fédération française de triathlon dans le WP1) qui ne faisaient pas partie du projet au départ. S'il en ressort un nombre d'athlètes suivis inférieur à l'estimation initiale, le suivi individuel a été amplifié, permettant des mesures répétées sur différents stades, avec un accompagnement personnalisé des sportifs.

Si ces obstacles organisationnels et calendaires comportent des risques de dispersion, ils ont aussi fourni des opportunités d'échange et de communication entre les acteurs scientifiques et sportifs du consortium HYPOXPERF, permettant de faire évoluer les travaux et les modalités des accompagnements scientifiques en adéquation avec les priorités stratégiques identifiées par les fédérations. Par exemple, dans le WP1, 10 athlètes ont bénéficié d'un suivi répété sur plusieurs stages en altitude ou au niveau de la mer. Dans le WP3, l'approche des JO n'a pas permis la reprogrammation d'une phase expérimentale, mais a vu naître une opportunité d'accompagnement dans le cadre de la préparation olympique de l'équipe de France féminine de rugby à 7 avec la reconduction d'un camp d'entraînement préalablement testé dans le cadre du projet HYPOXPERF (Bouten *et al.*, 2023).

Des résultats nouveaux pour affiner les recommandations

Les résultats préliminaires des différentes études menées dans le cadre du projet HYPOXPERF ont été restitués auprès des entraîneurs et athlètes concernés (bilans personnalisés). La figure 3 résume les principales conclusions. Brièvement :

- Chez des nageurs en eau libre et des triathlètes, un stage en altitude (LHTH) permet d'augmenter la capacité à transporter l'oxygène, avec un maintien de l'expansion de la masse en hémoglobine jusqu'à 10 jours post-stage, en fonction de la dose hypoxique (durée du stage allant de 16 à 28 jours et niveau d'altitude allant de 1 850 m à 3 000 m) et d'autres facteurs

confondants (par ex., supplémentation en fer, acclimatation à la chaleur, âge) influençant les réponses individuelles (résultats qui seront approfondis par les travaux du WP4) (Fig. 3a).

- L'ajout d'un entraînement de répétition de sprints en hypoxie (RSH, 2 séances à 3 500 m par semaine pendant 3 semaines) chez des lutteurs résidant en altitude permet d'améliorer la résistance à la fatigue (test spécifique de lutte) mais pas la capacité aérobie (Fig. 3b).

- L'utilisation d'une surcharge excentrique pendant la récupération d'entraînement aérobie à haute intensité en hypoxie (IHT ; 5 séries de 3 minutes à 100 % de la puissance maximale aérobie (PMA) et 3 minutes de récupération à 30 % ou 150 % PMA) pour compenser la perte de charge mécanique, augmente l'explosivité, la capacité aérobie et la résistance à la fatigue de judokas (Fig. 3c).

- L'application de la méthode RSH avec hypoventilation volontaire (RSH-VHL ; 2 séances par semaine pendant 4 semaines) permet d'améliorer la capacité à répéter des efforts courts et intenses chez des judokas, principalement due à une meilleure perfusion musculaire (Woorons *et al.*, 2024). Cependant, les gains disparaissent 12 jours après l'intervention (Fig. 3d) et des rappels de charge sont certainement nécessaires pour assurer la pérennité des effets positifs.

- Chez des joueuses de rugby à 7, des kayakistes et des cyclistes, la comparaison d'un entraînement de répétitions de sprints en condition hypoxique ou chaude et leurs potentiels effets croisés indique que les deux types d'entraînements induisent des gains significatifs en condition neutre, hypoxique et chaude, suggérant une potentielle

tolérance croisée entre les stress environnementaux (Fig. 3e).

– La combinaison de la méthode LHTLH avec des processus de récupération corps entier par le froid ou la chaleur indique des gains de puissance maximale aérobie, indépendamment du mode de récupération associé chez des cyclistes (Figure 3f).

– Enfin, étant donné son positionnement transversal, le WP4 prévoit, via la création d'une base de données des suivis et tests psychophysiologicals et biologiques communs aux précédents lots de travail, l'identification des variabilités individuelles (bons et mauvais répondeurs à l'hypoxie, dose hypoxique), le ciblage de marqueurs spécifiques (par ex., métabolisme du fer) et la modélisation des facteurs de prédiction des réponses à l'hypoxie.

Sur la base de ces observations, le consortium HYPOXPERF a formulé des recommandations spécifiques aux fédérations impliquées et a divulgué ses résultats lors d'un symposium co-organisé avec le réseau Grand INSEP et le groupe « Accompagnement à la

performance en stress environnemental » (ASTRE) le 3 juillet 2023 à l'INSEP. Ce rapprochement permet entre autres de conforter le modèle d'accompagnement scientifique des athlètes et participe à la structuration et au renforcement de la formation des cadres par l'intermédiaire du Certificat de compétence spécifique (CCS) « Entraînement sous stress environnemental » et des étudiants (par ex., master de l'INSEP). Il a en ce sens également permis la constitution d'un groupe de travail « Supplémentation en fer » au sein du groupe ASTRE avec la présence d'experts du consortium HYPOXPERF.

À ceci s'ajoute différentes initiatives de communication des résultats auprès des différents acteurs sportifs par l'intermédiaire de présentations, ateliers et infographies (séminaire européen « Experianti » organisé par la FFN, Fête de la science en 2023, Journée « Portes ouvertes haute performance » de la FFC, Journées « Extrême » de l'université de Poitiers en 2024) et l'organisation de deux webinaires dans le cadre du GDR Sport & Activité Physique (« Environmental Stress

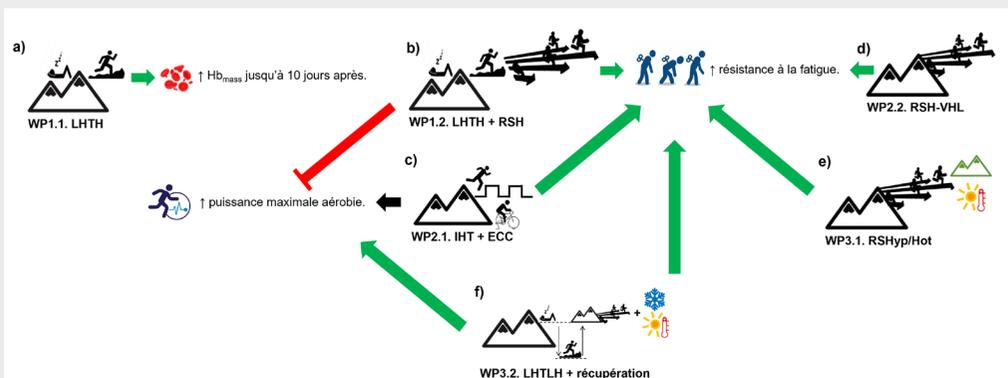


Figure 3 – Résultats préliminaires principaux des différents lots de travail du projet HYPOXPERF.



and Performance », le 23 février 2023, et « Stress environnemental et Santé », le 6 février 2024).

Dans tous les cas, les résultats du projet HYPOXPERF participent à l'amélioration des connaissances scientifiques tout en fournissant des recommandations pratiques pour les entraîneurs et les athlètes qui souhaitent utiliser l'entraînement en altitude/hypoxie dans leur préparation pour les Jeux olympiques.

Des perspectives pour aller encore plus loin

Comme précédemment mentionné, les retours émanant des expérimentations participent à la mise en place de protocoles d'accompagnement pour certaines fédérations du consortium, avec des transferts possibles pour les fédérations de sports d'hiver (Milano Cortina 2026 et dans les Alpes françaises 2030), dans les sports non

olympiques et paralympiques, ainsi qu'à l'échelle du grand public (santé et bien-être).

En sus des six fédérations actuellement impliquées, la Fédération française de triathlon a intégré le protocole expérimental (WP1.1.) et d'autres fédérations ont émis le souhait d'être accompagnées dans le futur. De nombreux conseils ont été apportés à différentes fédérations (par ex., athlétisme, badminton, haltérophilie, hockey sur gazon, boxe, tir) dans le cadre de la préparation d'événements majeurs en lien direct avec la préparation olympique de Paris 2024. Quelques recommandations ont également été préconisées à des athlètes paralympiques.

L'adhésion des fédérations et les liens forts tissés avec les acteurs fédéraux permettent de faire émerger de nouvelles demandes de suivi, d'accompagnement scientifique et de recherche sur la thématique au profit des populations d'athlètes de haut niveau mais aussi vers la population générale (apport du stress environnemental pour lutter contre certaines pathologies métaboliques ou cardiovasculaires, le vieillissement, etc.) en lien direct avec les initiatives gouvernementales, comme « **Bouger 30 min** », stratégie Nationale Sport Santé.

L'émergence d'outils « environnementaux » sur le territoire français avec un maillage par l'intermédiaire du réseau Grand INSEP et le groupe ASTRE, le nombre grandissant d'entraîneurs sensibilisés à l'utilisation des stress environnementaux dans l'entraînement, les échanges et réflexions avec les entraîneurs et athlètes suivis au cours du projet HYPOXPERF ont permis de réduire le « fossé entre terrain et laboratoire », ouvrant de nouvelles opportunités scientifiques qu'il serait nécessaire de prolonger et

dont les retombées pourraient aller au-delà du milieu sportif.



[Voir la vidéo de présentation du projet.](#)

Bibliographie

- Beard, A., Ashby, J., Chambers, R., Brocherie, F. et Millet, G. P. (2019). Repeated-sprint training in hypoxia in international rugby union players. *Int J Sports Physiol Perform*, 14(6), 850-854. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0170>
- Bouten, J., Brick, M., Saboua, A., Hadjadj, J. L., Piscione, J., Margot, C. *et al.* (2023). Effects of 2 different protocols of repeated-sprint training in hypoxia in elite female rugby sevens players during an altitude training camp. *Int J Sports Physiol Perform*, 18(9), 953-959. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2023-0121>
- Brocherie, F., Girard, O. et Millet, G. P. (2017). Innover en préparation physique avec l'entraînement en altitude. *Réflexions Sport*, 15, 4-23.
- Brocherie, F., Millet, G. P., Hauser, A., Steiner, T., Rysman, J., Wehrli, J. P. *et al.* (2015). "Live High-Train Low and High" hypoxic training improves team-sport performance. *Med Sci Sports Exerc*,

47(10), 2140-2149. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000630>

Burtscher, J., Raberin, A., Brocherie, F., Malatesta, D., Manferdelli, G., Citherlet, T. *et al.* (2023). Recommendations for women in mountain sports and hypoxia training/conditioning. *Sports Med*, 54, 795-811. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01970-6>.

Dufour, S. P., Lampert, E., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Billat, V. L., Piquard, F. *et al.* (2004). Eccentric cycle exercise: training application of specific circulatory adjustments. *Med Sci Sports Exerc*, 36(11), 1900-1906. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000145441.80209.66>

Gibson, O. R., Taylor, L., Watt, P. W. *et Maxwell*, N. S. (2017). Cross-adaptation: heat and cold adaptation to improve physiological and cellular responses to hypoxia. *Sports Med*, 47(9), 1751-1768. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0717-z>

Jeton, F., Soliz, J., Marchant, D., Joseph, V., Richalet, J. P., Pichon, A. *et al.* (2017). Increased ventilation in female erythropoietin-deficient mouse line is not progesterone and estrous stage-dependent. *Respir Physiol Neurobiol*, 245, 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2017.07.002>

Millet, G. P. *et Brocherie*, F. (2020). Hypoxic training is beneficial in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 52(2), 515-518. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002142>

Mujika, I., Sharma, A. P. *et Stellingwerff*, T. (2019). Contemporary periodization of altitude training for elite endurance athletes: a narrative review. *Sports Med*, 49(11), 1651-1669.

Raberin, A., Burtscher, J., Citherlet, T., Manferdelli, G., Krumm, B., Bourdillon, N. *et al.* (2023). Women at altitude: sex-related physiological responses to exercise in hypoxia. *Sports Med*, 54, 271-287. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01954-6>

Rodriguez, F. A., Iglesias, X., Feriche, B., Calderon-Soto, C., Chaverri, D., Wachsmuth, N. B. *et al.* (2015). Altitude training in elite swimmers for sea level performance (Altitude Project). *Med Sci Sports Exerc*, 47(9), 1965-1978. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000626>

Schmitt, L., Millet, G., Robach, P., Nicolet, G., Brugniaux, J. V., Fouillot, J. P. *et al.* (2006). Influence of "living high-training low" on aerobic performance and economy of work in elite athletes. *Eur J Appl Physiol*, 97(5), 627-636. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0228-3>

Siebenmann, C. *et Dempsey*, J. A. (2020). Hypoxic training is not beneficial in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 52(2), 519-522. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002141>

Sotiridis, A., Debevec, T. *et Mekjavic*, I. B. (2018). Letter to the editor: combined effects of hypoxia and heat: importance of hypoxic dose. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 314(2), R228-R229. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00347.2017>

White, A. C., Salgado, R. M., Schneider, S., Loeppky, J. A., Astorino, T. A. *et Mermier*, C. M. (2014). Does heat acclimation improve exercise capacity at altitude? a cross-tolerance model. *Int J Sports Med*, 35(12), 975-981. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1368724>

Woorons, X., Mucci, P., Richalet, J. P. *et Pichon*, A. (2016). Hypoventilation training at supramaximal intensity improves swimming performance. *Med Sci Sports Exerc*, 48(6), 1119-1128. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000863>

Woorons, X., Faucher, C., Dufour, S. P., Brocherie, F., Robach, P., Connes, P., Brugniaux, J. V., Verges, S., Gaston, A. F., Millet, G. P., Dupuy, O. *et Pichon*, A. (2024). Hypoventilation training including maximal end-expiratory breath holding improves the ability to repeat high-intensity efforts in elite judo athletes. *Front. Physiol*, 15, 1441696. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1441696>



Neptune, un projet scientifique interdisciplinaire au service de la performance en natation et para-natation

Ludovic Seifert

Université de Rouen Normandie, CETAPS UR3832,
Institut Universitaire de France (IUF)

Rémi Carmigniani

École Nationale des Ponts et Chaussées

Robin Pla

Fédération française de natation

Guillaume Domingo

Fédération Française Handisport



Le projet NePTUNE bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-19-STHP-0004.

Naissance, consortium et objectifs du projet Neptune

La natation fait partie des sports les plus représentés aux Jeux olympiques et paralympiques. Les travaux de recherche sont très nombreux, avec un ancrage historique en 1971 lors de la première édition du congrès « Biomechanics and Medicine in Swimming », qui depuis a lieu tous les quatre ans. Pour autant, les entraîneurs et les nageurs ne se sont pas toujours intéressés à ces travaux de recherche qui restaient souvent trop fondamentaux ou qui nécessitaient une instrumentation importante pour pouvoir être réalisés régulièrement au bord des bassins, avec un délai de traitement des données et de retour aux entraîneurs trop long. Les progrès technologiques et l'intelligence artificielle ont permis de lever certains verrous techniques, un gain de temps dans les traitements, notamment grâce à leur automatisation, sans trop dégrader la précision. Même si des améliorations restent à faire, ces progrès techniques permettent actuellement de conjuguer la recherche fondamentale dans différents domaines et la recherche appliquée au service de l'entraînement. Ces deux orientations sont au fondement du projet Neptune, « Natation et paranatation : tous unis avec nos élites », qui regroupe un consortium interdisciplinaire composé de treize partenaires dont deux fédérations sportives (Fédération française de natation et Fédération française handisport), des grandes écoles (École des Ponts, INSA Lyon, École centrale de Lyon, ENS Cachan), des universités (universités de Rouen Normandie, de Caen Normandie, de Lille, Claude Bernard Lyon 1, d'Orléans et de Rennes) et l'INSEP. Ce projet poursuit

trois axes de recherche en accord avec trois défis proposés par l'appel à projet « Sport de Très Haute Performance » : le cinquième (Apprentissage et optimisation de la performance), le septième (Big Data et intelligence artificielle au service de la performance) et le neuvième (Spécificité du paralympique).

Un premier axe concerne le suivi vidéo automatique et les stratégies de gestion de course des nageurs français en compétition et lors de simulations de course à l'entraînement. L'analyse des compétitions permet d'identifier différents profils de gestion de course et ainsi d'analyser la concurrence. Un second axe s'intéresse à l'évolution des coordinations motrices, des paramètres d'efficacité de la propulsion et aux parties non nagées (départ, virage). Le travail réalisé permet d'établir une carte d'identité du nageur en identifiant deux régimes de fonctionnement grâce à l'utilisation de capteurs de mouvement (centrales inertielle), puis d'évaluer la coordination motrice et l'asymétrie de coordination en fonction de la fréquence gestuelle, du handicap moteur, la modalité respiratoire. Le troisième axe se focalise sur les résistances aquatiques (individuel et en groupe) et l'évaluation du profil charge-vitesse, car la haute performance et l'économie ne sont pas seulement dues à une propulsion efficace mais aussi à la minimisation des résistances passives et actives.

Pour chacun de ces axes, le projet développe des méthodes et outils innovants, avec une version facile et rapide d'usage pour l'intervention et le suivi des nageurs par les entraîneurs, et une version plus avancée pour des mesures et recherches scientifiques plus élaborées sur le mouvement,

l'énergétique humaine et l'optimisation de la performance. Dans la pratique, certaines méthodes et certains outils ont été développés plus rapidement que d'autres et sans homogénéité territoriale ; ceci pour différentes raisons. Le service optimisation de la performance de la FFN a pour habitude de venir en support aux entraîneurs nationaux pour répondre à des questions précises et individuelles. Selon cette même logique, le projet Neptune n'a pas été déployé de manière homogène dans tous les pôles France, mais selon les besoins et sensibilités des entraîneurs nationaux. Cela a été autant un frein qu'un avantage : un frein, car pour démontrer l'effet d'un phénomène d'un point de vue statistique, pour le modéliser, pour faire de l'apprentissage statistique (*machine learning*) ou de l'apprentissage profond (*deep learning*), un nombre important de données dans des conditions standards est nécessaire ; un avantage, car les échanges avec les entraîneurs ont permis de répondre à leurs besoins (qui eux-mêmes sont alimentés par des problématiques propres à chaque nageur) et de concevoir des tests, des méthodes et des outils utiles pour l'entraînement et pas uniquement pour répondre à des questions scientifiques. Ces échanges ont d'ailleurs fait émerger des problématiques qui n'étaient pas présentes au début du projet, tandis que d'autres problématiques qui avaient moins retenu l'attention des entraîneurs ont été moins développées. En fin de compte, c'est véritablement la co-construction et la capacité d'adaptation des différents acteurs qui ont permis de répondre à des enjeux à la fois scientifiques et sportifs.

“... conjuguer la recherche fondamentale dans différents domaines et la recherche appliquée au service de l'entraînement.”

Mise en œuvre du projet

L'analyse de compétition et de simulation de compétition

Avant l'analyse des compétitions de natation, l'entraîneur ne disposait que des temps de passage et d'impressions subjectives de « l'œil de l'entraîneur » pour analyser les performances des nageurs. La natation de compétition est une activité locomotrice cyclique pour laquelle les nageurs doivent gérer stratégiquement les paramètres de nage, c'est-à-dire l'amplitude (SL) et la fréquence gestuelle (SR) afin de garantir une vitesse de nage élevée avec peu de fluctuations entre et au sein des cycles (Schnitzler *et al.*, 2010). En effet, les fluctuations de vitesse sont positivement corrélées au coût énergétique de la locomotion (Vilas Boas *et al.*, 2011) et aux discontinuités entre les actions propulsives (Schnitzler *et al.*, 2010 ; Seifert *et al.*, 2010).

Bien que la Fédération française de natation (FFN) analyse les compétitions nationales et internationales à partir de son propre système de captation vidéo et logiciel d'annotation depuis 1987, ce dispositif reste

manuel et requiert plusieurs caméras pour suivre l'ensemble des nageurs, si bien que la captation focalise sur les nageurs français et à la marge quelques nageurs étrangers. L'autre limitation est liée à l'absence de calibration spatiale de la piscine qui ne permet que des analyses subjectives par zones facilement repérables grâce aux marqueurs des lignes d'eau (0-15 m, 15-25 m, 25-45 m, 45-50 m). Ainsi, un premier axe concerne l'analyse de compétition, avec un enjeu majeur en vision assistée par ordinateur pour réaliser le suivi automatique des nageurs à partir de captations vidéo, et avec un enjeu en science des données pour analyser les différentes stratégies de gestion de course (Simbaña Escobar *et al.*, 2018a ; Simbaña-Escobar *et al.*, 2018b). Néanmoins, filmer les compétitions avec des caméras sous-marines n'étant pas autorisé, il n'est pas possible d'analyser la technique de nage et les parties non nagées (départ et virages). De ce fait, nous avons aussi étudié des simulations de course grâce à l'instrumentation de la piscine de l'INSEP avec un système de capture de mouvement (AIM©, Suède) composé de 22 caméras (12 sous-marines et 10 aériennes) permettant un suivi automatique du nageur pour réaliser des analyses cycle à cycle. Sur la base du système multi-caméras, un algorithme de suivi du nageur plus avancé a été développé pour analyser plus spécifiquement les phases de départ (partie aérienne et sous-marine) et les virages en plus des parties nagées. D'abord, les caméras ont été calibrées dans l'espace afin de pouvoir reconstruire une vue panoramique du départ du nageur capable également de s'adapter à son placement dans la largeur de la ligne d'eau. Les images ainsi générées sont analysées par notre intelligence artificielle afin d'estimer

la position du nageur dans le bassin. On obtient ainsi le geste du nageur, sa position et son temps. Un effort important a été réalisé afin de permettre d'utiliser cet outil en condition d'entraînement, en optimisant les étapes d'analyse pour proposer des retours quelques minutes après un passage. La Fig. 1 illustre le résultat de cet outil sur le départ d'un nageur.

L'analyse des paramètres d'efficacité de la propulsion, de la coordination motrice et des aspects énergétiques

L'avancement en natation étant régi par la génération de propulsion et la minimisation des résistances, un second axe s'est intéressé à l'évaluation des paramètres d'efficacité de la propulsion, notamment les fluctuations de vitesse et la fluidité du déplacement (*jerk cost*, voir Bouvet *et al.*, 2023). Les modifications du rapport fréquence/amplitude et de la coordination motrice permettent au nageur de maintenir son efficacité propulsive dans le temps mais peuvent avoir un impact sur la dépense énergétique. Étant donné la difficulté et le coût élevé pour instrumenter une piscine avec un système multi-caméras, une autre orientation pour capturer le mouvement a été d'utiliser des centrales inertielles (composées d'accéléromètres tridimensionnels, de gyroscopes tridimensionnels et de magnétomètres tridimensionnels) afin de disposer d'une solution technologique transportable, miniature, étanche et facile à installer pour évaluer la technique de nage. L'utilisation des centrales inertielles a permis d'identifier les points clés déterminant les phases propulsives et non propulsives du cycle de nage (Regaieg *et al.*, 2023), puis le mode de coordination motrice a été évalué grâce à

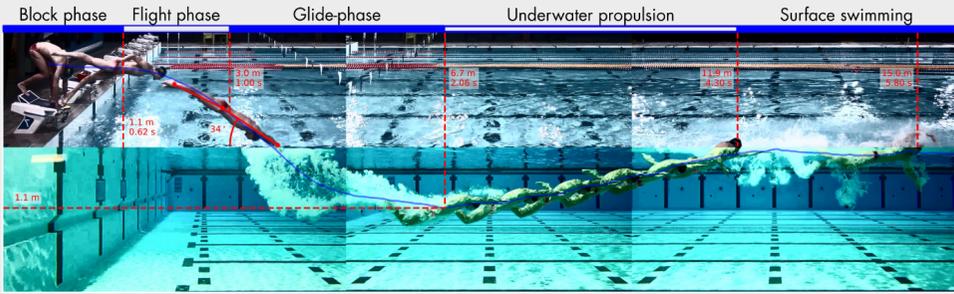


Figure 1 – Vue panoramique d'un départ.

un index de coordination (IdC) (selon qu'il y a un temps mort, une continuité ou un chevauchement entre deux phases propulsives) (Chollet et Seifert, 2011). L'évaluation de la symétrie entre le côté droit et le côté gauche de coordination motrice s'est révélée un indicateur pertinent à mettre en relation avec le côté préférentiel d'inspiration en cas de respiration unilatérale et le côté du handicap chez les para-nageurs ayant une amputation ou agénésie unilatérale. Cela a en effet permis de juger si opposer le côté respiratoire au côté du handicap pouvait rééquilibrer l'asymétrie de coordination motrice observée et surtout si cette rééquilibration permettait une meilleure économie ou efficacité technique. De là, nous avons testé l'effet de différentes modalités respiratoires sur la symétrie de coordination motrice en crawl, notamment des modalités supposées permettre une symétrie de coordination (utiliser un tuba frontal, une respiration bilatérale comme inspirer tous les trois mouvements de bras, ou nager en apnée) et des modalités supposées amener une asymétrie de coordination (utiliser une respiration unilatérale, comme inspirer tous les deux ou quatre mouvements de bras du côté préférentiel et non préférentiel) (Seifert *et al.*, 2024).

Bien que le projet Neptune ait bénéficié principalement aux (para)nageurs élités, et en particulier ceux potentiellement médaillables aux JOP de Paris 2024, il nous a semblé important de diffuser les outils et méthodes aux nageurs espoirs qui formeront l'élite de demain. Certains jeunes étant encore en cours de développement, un test de 10 × 25 m incrémenté en vitesse a permis d'établir une carte d'identité du nageur en identifiant deux régimes de fonctionnement : un régime de glisse ou de coordination constante (courbe en pointillés épais) et un régime de force maximale (courbe en pointillés fins) (Fig. 2) (Carmigniani *et al.*, 2020). Dans le régime de coordination constante, les nageurs conservent une répartition de leurs temps de glisse sur la durée du cycle totale constante. L'augmentation de la vitesse (V) de nage se fait grâce à une augmentation proportionnelle de la fréquence gestuelle (SR) et à une amplitude constante (SL). Une coordination motrice en glisse permet de minimiser la consommation d'énergie pour des vitesses inférieures à une vitesse critique correspondant à l'indice de nage maximal ($IN = V \times SL$). Dans le régime de force maximum, les nageurs poussent le plus fort qu'ils peuvent à chaque cycle et contrôlent leur vitesse en jouant sur les

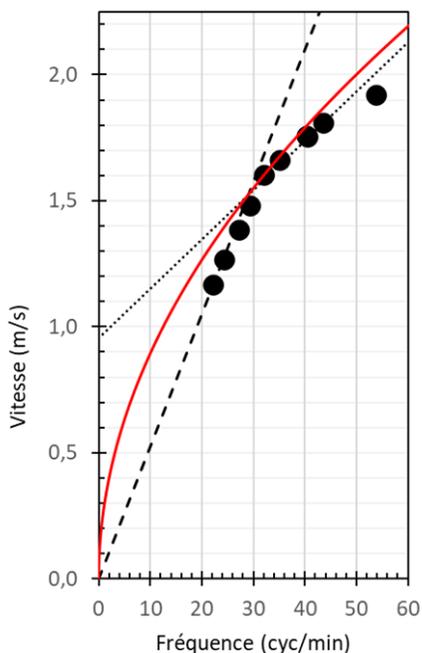


Figure 2 – Modélisation des deux régimes de fonctionnement.

temps de glisse et de retour aérien. Dans ce régime, l'amplitude diminue mais l'indice de nage est constant. Ce régime est représenté par la courbe rouge dans la Figure 2. Quand le nageur s'éloigne de cette courbe rouge, il perd en « appui » quand il augmente sa fréquence, si bien que l'augmentation de la fréquence gestuelle n'entraîne pas une augmentation proportionnelle de sa vitesse. Cette perte d'appui (correspondant au gain potentiel de vitesse) est évaluée par l'aire entre la courbe rouge et la courbe en pointillés fins et se caractérise par une baisse de l'indice de nage. Le croisement entre les deux courbes en pointillés correspond à la transition entre les deux régimes de fonctionnement et à la valeur maximale d'indice de nage.

Étant donné l'incapacité à maintenir une grande force maximale au fur et à mesure que la fréquence gestuelle augmente, il est important d'identifier à la fois la fréquence préférentielle pour une vitesse de nage donnée (souvent associée à la dépense énergétique la plus faible) et d'être capable de varier sa fréquence gestuelle autour de sa fréquence préférentielle sans augmentation démesurée de la dépense énergétique (Simbaña-Escobar *et al.*, 2020). Un deuxième test imposant des fréquences gestuelles de +/- 5 à 10 % de la fréquence préférentielle avec un métronome auditif (6 × 50 m pour les nageurs de sprints et 4 × 100 m pour les nageurs de moyenne et longue distance) a permis d'analyser la flexibilité de la fréquence gestuelle des nageurs et les conséquences sur la dépense énergétique et la coordination motrice.

L'analyse des résistances passives et actives en individuel et en peloton

Le troisième axe se focalise sur les résistances aquatiques (individuel et en groupe) et l'évaluation du profil charge-vitesse, car la haute performance et l'économie ne sont pas seulement dues à une propulsion efficace mais aussi à la minimisation des résistances passives et actives. En natation, on distingue les résistances à l'avancement lors des phases de glisse et de nage. On parle de résistance passive et active. Nous avons réalisé des tests permettant de dresser une carte d'identité des résistances passives en fonction de la position du nageur, de sa vitesse et de sa profondeur (Fig. 3).

Les résistances en phase de nage sont évaluées sur des exercices de sprints (*all-out*) soit en départ arrêté (le nageur part sans vitesse initiale et sans pousser au

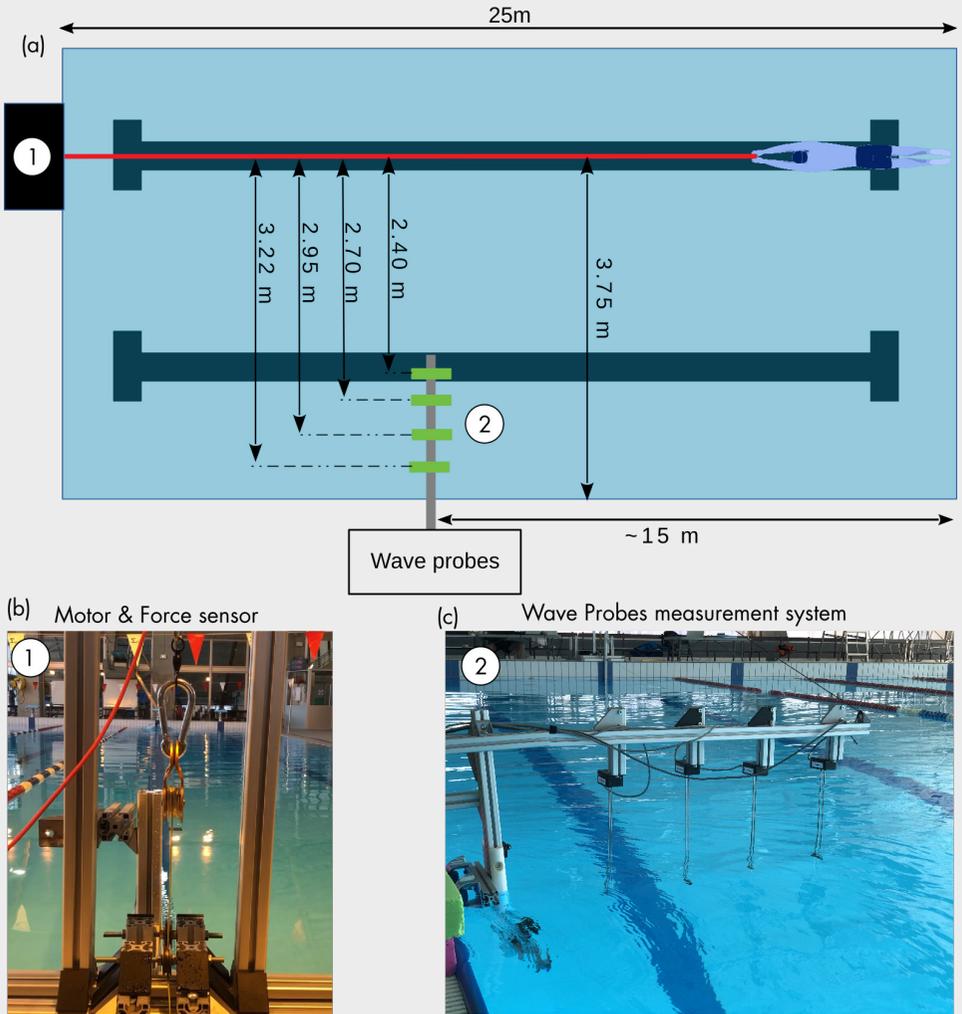


Figure 3 – Évaluation des résistances passives en natation.

mur) soit avec une charge additionnelle (le nageur est légèrement retenu à l'aide d'une résistance connue, souvent générée par un moteur). Il faut une modélisation de la nage pour permettre de remonter à la résistance et une hypothèse de fermeture pour réduire le nombre d'inconnues.

Deux fermetures sont proposées dans la littérature : puissance mécanique utile constante (Kolmogorov et Duplishcheva, 1992) ou force de propulsion moyenne constante (Takagi *et al.*, 1999). Aucune des deux ne permet de comprendre à la fois l'évolution de la vitesse avec la charge

additionnelle et la relation vitesse-fréquence de l'axe précédent. Nous avons proposé une nouvelle approche permettant d'avoir un modèle unique de nage : une impulsion constante. Cette hypothèse est très proche de celle de Takagi *et al.* (1999) mais permet de s'affranchir de la fréquence constante supposée par ces derniers. Il reste que lors de ces tests avec charge additionnelle, une hypothèse forte est faite sur le fait que le nageur n'est que faiblement perturbé dans son geste (Fig. 4).

Si les nageurs en compétition sont seuls dans un couloir et séparés par des lignes d'eau pour limiter les interactions, en eau libre, ils peuvent nager très proches les uns des autres. Nous avons exploré ces effets d'interaction ou *drafting* à l'aide d'un modèle réduit. Nous avons pu ainsi identifier les meilleures positions et les stratégies de dépassement dans des configurations à deux nageurs et dans des pelotons afin de pouvoir discuter des stratégies de course pour ces épreuves (Fig. 5).

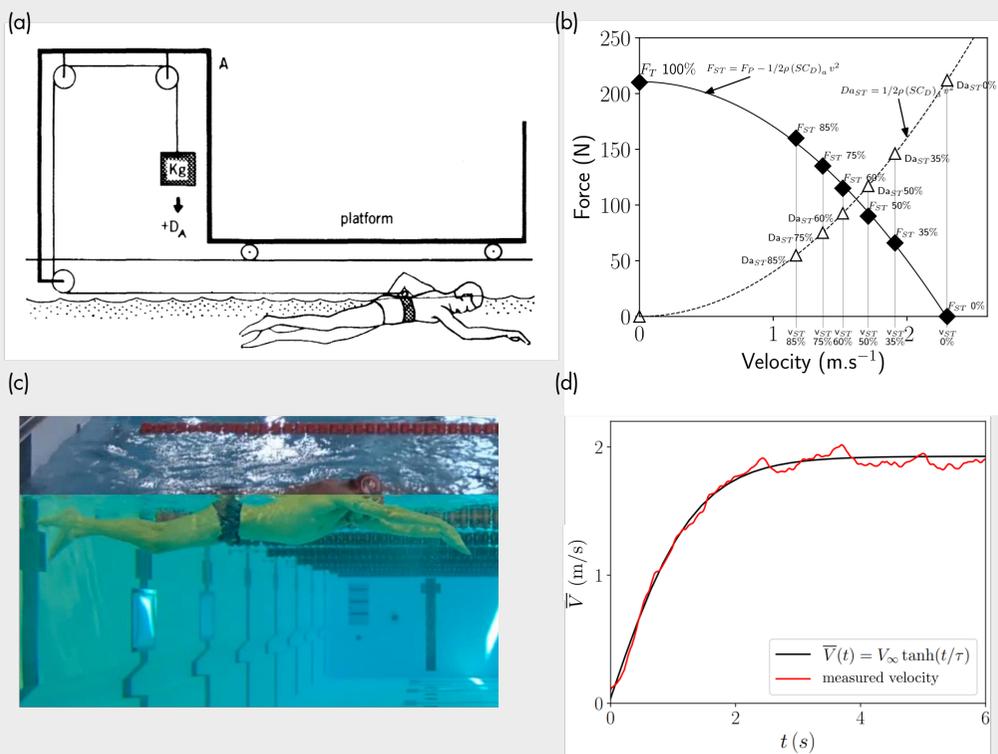


Figure 4 – Les mesures de résistance active.

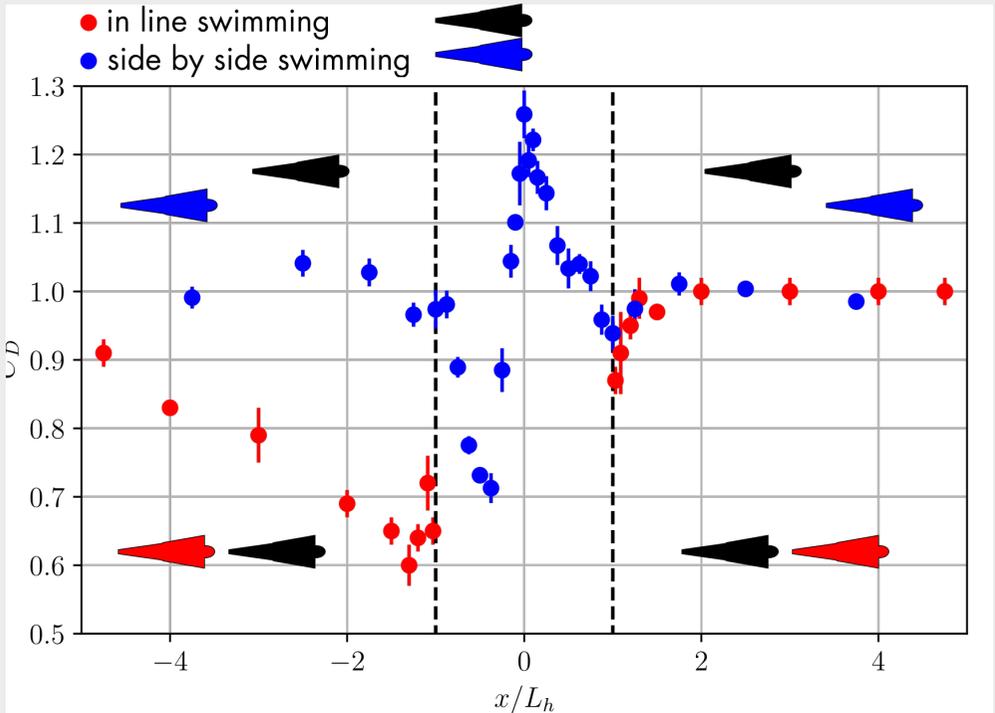


Figure 5 – Impact de la position sur la résistance à l'avancement de nageurs.

Résultats en vue des JOP et perspectives après les JOP de Paris 2024 pour les fédérations et les entraîneurs

Comme énoncé préalablement, pour chacun des trois axes, le projet a permis le développement de méthodes et outils innovants, avec une version facile et rapide d'usage pour l'intervention et le suivi des nageurs par les entraîneurs, et une version plus avancée pour des mesures et recherches scientifiques plus élaborées sur le mouvement, l'énergétique humaine et l'optimisation de

la performance. Nous avons fourni à la fois des connaissances sous forme de comptes rendus, des outils et méthodes (par ex., test de terrain) sous forme de tutoriels ; nous finalisons des interfaces qui permettront une acquisition et un traitement plus faciles des données collectées par des systèmes multi-caméras ou par des capteurs de mouvements, afin de dépasser les prototypes et les algorithmes qui nécessitent des compétences avancées en programmation. À partir des analyses de compétition et du suivi à l'entraînement, ces outils et méthodes ont permis de confirmer ou d'infirmer les intuitions des entraîneurs pour (ré)orienter leur entraînement.

“... déployer ces tests, outils et méthodes dans les pôles France et espoirs qui n'en auraient pas encore profité pour former les générations de nageurs et d'entraîneurs de demain.”

Pour la préparation des JOP de Paris 2024, une grande partie de l'équipe de France de natation et para-natation a pu bénéficier des outils développés par Neptune. À l'INSEP, les nageurs du Centre national d'entraînement ont notamment pu travailler leur trajectoire de coulées à plus d'une vingtaine de reprises, en routine. Des progrès sur les temps réalisés après les 15 premiers mètres de course ont déjà été observés chez certains d'entre eux, grâce aux analyses faites en compétition. D'autres têtes d'affiche sont passées par l'INSEP pour évaluer cette trajectoire de coulée : F. Manaudou, M. Wattel et M. Hénique par exemple. Par ailleurs, la majeure partie des meilleurs nageurs français utilisent aujourd'hui les mesures de résistances et de profilage charge-vitesse avec le 1080. Les groupes de Font-Romeu, Marseille et Antibes y ont eu recours plusieurs fois ces deux dernières années. Léon Marchand – exilé aux États-Unis – a lui aussi pu faire un profilage hydrodynamique lors des

derniers championnats de France à Rennes. Le test de 10 × 25 m permettant d'établir les deux régimes de fonctionnement et l'analyse de la coordination motrice grâce aux centrales inertielles a été largement déployé auprès des centres nationaux de l'INSEP, de Toulouse et de Font-Romeu, mais aussi pour les populations plus jeunes. Il a également bénéficié à A. Hanquinquant, multiple champion de France de para-triathlon et champion paralympique à Tokyo en 2021.

Bien entendu, il est toujours difficile d'établir un lien entre les progrès réalisés et ces apports scientifiques et technologiques. Néanmoins, nous observons une adhésion de plus en plus forte de la part des nageurs et de leurs entraîneurs. Après les JOP, l'objectif sera de rendre ces outils et ces méthodes faciles à utiliser pour s'assurer de leur emploi de manière régulière. Tout cela devra également déboucher sur des *feedbacks* rapides. C'est la combinaison de ces deux facteurs (facilité d'utilisation et retour d'informations immédiat) qui permettra une utilisation régulière de ces outils. La causalité avec la performance sera alors encore plus facile à démontrer et à établir. Une autre perspective après les JOP de Paris 2024 consiste à déployer ces tests, outils et méthodes dans les pôles France et espoirs qui n'en auraient pas encore profité pour former les générations de nageurs et d'entraîneurs de demain.

Bibliographie

Bouvet, A., Pla, R., Delhaye, E., Nicolas, G. et Bideau, N. (2023). Profiles of stroke regulations discriminate between finishing positions during international open water races. *Journal of Sports Sciences*, 41(13),

1309-1316. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2268902>

Carmigniani, R., Seifert, L., Chollet, D. et Clanet, C. (2020). Coordination changes in front-crawl swimming. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 476(2237), 20200071–20200071. <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0071>

Chollet, D. et Seifert, L. (2011). Inter-limb coordination in the four competitive strokes. Dans L. Seifert, D. Chollet et I. Mujika (dir.), *The world book of swimming: From science to performance* (p. 153-172). Nova Science Publishers.

Kolmogorov, S. V. et Duplishcheva, O. A. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *Journal of Biomechanics*, 25(3), 311-318. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(92\)90028-Y](https://doi.org/10.1016/0021-9290(92)90028-Y)

Regaieg, M. A., Létocart, A. J., Bosche, J., Seifert, L. et Guignard, B. (2023). Automatic detection of key points of the cycle to assess upper limb coordination in front crawl: effect of swimming speed and impairment. *IEEE Sensors Journal*, 23(16), 17979-17989. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3290648>

Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M. et Chollet, D. (2010). Hip velocity and arm coordination in front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 875-881. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1265149>

Seifert, L., Létocart, A., Guignard, B. et Regaieg, M. A. (2024). Effect of breathing conditions on relationships between impairment, breathing laterality and coordination symmetry in elite para swimmers. *Scientific Reports*, 14(1), 6456. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56872-y>

Seifert, L., Toussaint, H. M., Alberty, M., Schnitzler, C. et Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Human Movement Science*, 29(3), 426-439. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.11.003>

Simbaña Escobar, D., Hellard, P., Pyne, D. B. et Seifert, L. (2018a). Functional role of movement and performance variability: adaptation of front crawl swimmers to competitive swimming constraints. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(1), 53-64. <https://doi.org/10.1123/jab.2017-0022>

Simbaña-Escobar, D., Hellard, P. et Seifert, L. (2018b). Modelling stroking parameters in competitive sprint swimming: Understanding inter- and intra-lap variability to assess pacing management. *Human Movement Science*, 61, 219-230. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.08.002>

Simbaña-Escobar, D., Hellard, P. et Seifert, L. (2020). Influence of stroke rate on coordination and sprint performance in elite male and female swimmers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(11), 2078-2091. <https://doi.org/10.1111/sms.13786>

Takagi, H., Shimizu, Y. et Kodan, N. (1999). A Hydrodynamic Study of Active Drag in Swimming. *JSME International Journal Series B*, 42(2), 171-177. <https://doi.org/10.1299/jsmeb.42.171>

Vilas Boas, J. P., Fernandes, R. J. et Barbosa, T. (2011). Intra-cyclic velocity variations, swimming economy, performance, and training in swimming. Dans L. Seifert, D. Chollet et I. Mujika (dir.), *The world book of swimming: From science to performance* (p. 119-134). Nova Science Publishers.

Le projet D-day : atteindre son pic de performance lors des Jeux olympiques

A person wearing a white puffer jacket and a blue helmet with a red and white logo is shown from the chest up. Their right arm is raised, with the hand open and fingers spread. The background is a solid, deep blue. The text is overlaid on the left side of the image.

Laurent Bosquet
Université de Poitiers



Le projet D-day bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR – 19 – STHP – 0001.

Les Jeux olympiques de Paris 2024 ont permis à Léon Marchand de commencer à écrire sa légende. Ils ont également permis à plusieurs membres de l'équipe de France de s'illustrer et de confirmer leur grand potentiel international en participant à plusieurs finales. Ces résultats ne doivent bien entendu rien au hasard : ils sont le fruit d'un travail de longue haleine qui leur a permis de gravir progressivement les échelons et d'atteindre ce niveau de performance extraordinaire. Ils s'expliquent également par une gestion optimale des deux à trois dernières semaines qui précèdent la compétition afin d'espérer atteindre un pic de performance le jour J. Il s'agit de la période d'affûtage.

Par définition, l'affûtage est une diminution de la dose d'entraînement au cours d'une période de durée variable (Bosquet et Mujika, 2015). Son objectif est de diminuer la fatigue physiologique et psychologique accumulée lors des cycles d'entraînement précédents et d'optimiser *in fine* la performance. Cette période d'affûtage repose sur l'hypothèse selon laquelle la performance sportive est déterminée en très grande partie par la différence entre le niveau de condition physique et le niveau de fatigue (Banister et Fitz-Clarke, 1993). L'idée sous-jacente est que chaque entraînement influence conjointement ces deux dimensions. Ainsi, un individu qui s'entraîne beaucoup bénéficiera d'un certain nombre d'adaptations qui vont lui permettre d'atteindre un niveau de condition physique élevé, mais son niveau de fatigue le sera tout autant. D'un point de vue empirique, les sportifs constatent effectivement que ce n'est pas dans les périodes de charges d'entraînement les plus élevées qu'ils sont les plus performants. À l'inverse, un individu qui ne s'entraîne pas, ou qui cesse de s'entraîner, sera de fait beaucoup moins fatigué, mais son niveau de condition physique sera assez faible, ou en diminution, un scénario qui nuit à la capacité de performance.

Tout l'enjeu de la période d'affûtage consiste donc à identifier la dose d'entraînement qui permettra de diminuer au maximum le niveau de fatigue, sans réduire celui de la condition physique. Les paramètres que l'entraîneur peut manipuler dans ce but sont assez limités et très classiques. Nous trouvons bien évidemment l'intensité d'exercice, mais également la durée des exercices, la fréquence des séances d'entraînement et la durée de la



période d'affûtage. Une compilation des études scientifiques réalisées ces vingt dernières années a permis d'établir la stratégie qui, en moyenne, donne les meilleurs résultats : il s'agit d'une diminution progressive de 40 à 60 % du volume d'entraînement pendant une période de deux semaines, tout en conservant l'intensité des exercices et en modifiant avec parcimonie la fréquence des entraînements (Bosquet *et al.*, 2007). Avec cette stratégie, le gain moyen de performance se situe aux alentours de 2 %. Cela pourrait paraître dérisoire si l'histoire de la natation n'était parsemée de confrontations épiques au cours desquelles la différence entre la première et la seconde place a été bien inférieure à cela. L'un des grands moments de la natation française a été la victoire d'Alain Bernard au 100 m nage libre des Jeux olympiques de Pékin, en 2008. Au cours de la finale, il a devancé l'Australien Eamon Sullivan de 11 centièmes de seconde, ce qui correspond à un écart de 0,23 %. Le Brésilien Cesar Cielo et l'Américain Jason Lezak, qui ont tous les deux pris la troisième place, sont arrivés à 46 centièmes d'Alain Bernard, soit une différence de 0,97 %. Plus proche de nous, l'écart entre Léon Marchand et Kristof Milak lors de la finale du 200 m papillon des Jeux olympiques de Paris 2024 ne fut que de 54 centièmes, soit une différence de 0,49 %. Le Canadien Ilya Kharun a pris la troisième place en 1'52.80, ce qui correspond à une différence de 1,43 % avec Léon Marchand et 0,93 % avec Kristof Milak. Ces exemples confirment qu'un gain de performance compris entre 1 et 2 % peut donc avoir un impact majeur sur la carrière d'un sportif de haut niveau, surtout s'il arrive au bon moment.

“... l'hypothèse selon laquelle la performance sportive est déterminée en très grande partie par la différence entre le niveau de condition physique et le niveau de fatigue.”

C'est là que réside toute la difficulté, car la stratégie d'affûtage qui consiste à diminuer le volume d'entraînement par deux est celle qui donne les meilleurs résultats... en moyenne. Or, les entraîneurs le savent pertinemment, un sportif de haut niveau est tout sauf une moyenne. Cela signifie simplement que cette stratégie constitue un modèle de départ, qu'il convient ensuite d'individualiser. Dans la mesure où l'objectif de la période d'affûtage est de diminuer le niveau de fatigue induit par les cycles d'entraînement qui précèdent tout en maintenant le niveau de condition physique, il paraît logique d'en ajuster les caractéristiques au niveau de fatigue cumulée juste avant la période d'affûtage. Simple à dire, beaucoup plus complexe à mettre en œuvre. C'est à cette étape qu'interviennent les scientifiques du projet D-day. Ce consortium, financé par France 2030 dans le cadre du programme prioritaire de recherche « Sport de très haute performance » regroupe plusieurs institutions nationales telles que

le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), l'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP), l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), la Fédération française de natation (FFN) et l'université de Poitiers, qui pilote ce projet. L'objectif de cette équipe de 16 chercheurs était d'accompagner l'équipe de France de natation pour optimiser les trois dernières semaines qui ont précédé les Jeux olympiques de Paris 2024. Pour y parvenir, quatre grandes étapes ont été identifiées puis planifiées sur une période de quatre ans.

La première étape a consisté à développer un tableau de bord individuel dont l'objectif était de catégoriser le niveau de fatigue cumulée des nageurs et des nageuses de l'équipe de France trois semaines avant les grandes compétitions. La fatigue étant multifactorielle, les scientifiques ont décidé d'appuyer leur diagnostic sur l'évolution de mesures physiologiques, psychologiques et neuromusculaires recueillies à des périodes préalablement déterminées avec l'entraîneur (Bosquet *et al.*, 2024). La réflexion ne s'est pas arrêtée au choix ou à la programmation des tests et mesures les plus sensibles (Roete *et al.*, 2021). Elle s'est également orientée vers les méthodes de traitement qui permettent d'interpréter leurs variations au cours du temps. En effet, le principal enjeu est d'identifier, pour chaque mesure, le pourcentage de différence au-delà duquel on considère que l'effet observé est supérieur aux différences que l'on observe habituellement d'un jour sur l'autre, et que cet effet a un impact significatif (positif ou négatif) sur la performance. C'est à ce stade que l'on perçoit l'intérêt d'un suivi à long terme. Plus

on a de mesures accumulées pour chaque variable retenue, plus on est en capacité d'interpréter ses variations et son impact sur l'état de forme de chaque nageur et de chaque nageuse. Une condition importante pour y parvenir est de standardiser au maximum les conditions de passation des tests, afin que les différences observées reflètent majoritairement la réponse de l'athlète, plutôt que l'erreur de mesure. Même si l'exercice est complexe quand on est sur le terrain, cela doit être une préoccupation systématique de l'entraîneur. Par ailleurs, plusieurs approches plus ou moins complexes ont été proposées pour construire les tableaux de bord et définir ces critères d'interprétation (Hecksteden *et al.*, 2017 ; Robertson *et al.*, 2017 ; Thornton *et al.*, 2019 ; Verboon et Peters, 2020). Le principe qui doit guider les choix à opérer est le rasoir d'Ockham : « *Pluralitas non est ponenda sine necessitate* », ou pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple (Coutts, 2014). En effet, on perçoit assez facilement le risque de dérive qui consisterait à intégrer un nombre trop important de mesures, ce qui rend leur interprétation et surtout leur intégration pour estimer l'état de forme assez complexes. Le maître mot est donc la simplicité.

“... mettre en place la démarche globale avant les grands événements qui jalonnent la route vers les Jeux olympiques...”

Une fois que le niveau de fatigue est catégorisé, la seconde étape consiste à identifier les stratégies qui permettent de diminuer au maximum ce niveau de fatigue, sans altérer le niveau de condition physique. La plupart du temps, la simple manipulation de la charge d'entraînement suffit. Cependant, lorsque le niveau de fatigue cumulée est très élevé, ce qui est souvent le cas trois à quatre semaines avant les grandes compétitions internationales, la seule diminution du volume d'entraînement ne suffit pas (Bretonneau *et al.*, 2024 ; Vachon *et al.*, 2023), ou alors il faudrait qu'elle atteigne un niveau qui expose les nageurs et les nageuses à un risque de déconditionnement physique. Dans ce cas, la meilleure stratégie est de coupler la diminution du volume d'entraînement à l'utilisation de méthodes de récupération accélérée (Kellman *et al.*, 2018). Dans le cadre du projet D-day, les scientifiques ont décidé de cibler les méthodes qui semblent avoir un impact sur le sommeil, telles que l'éducation, la cryostimulation, l'immersion en eau chaude ou en eau froide, ou encore les matelas thermorégulants. Plus précisément, l'objectif des études expérimentales qui ont été menées pendant les deux premières années a été de vérifier l'effet bénéfique de ces méthodes sur la qualité et la quantité de sommeil des athlètes et de mettre en lumière les modalités d'utilisation les plus efficaces. À titre d'exemple, les résultats obtenus ont permis de montrer que la cryostimulation devait être utilisée le plus proche possible de l'heure du coucher, et ce pendant au moins cinq jours consécutifs pour espérer obtenir un effet sur la qualité et la quantité de sommeil (Arc-Chagnaud *et al.*, 2024). Une stratégie d'éducation au sommeil constituée de deux

ateliers collectifs et d'un atelier individuel donne également des résultats probants (Pasquier *et al.*, 2023 ; Vachon *et al.*, 2023).

Les deux à trois dernières semaines qui précèdent les compétitions majeures génèrent beaucoup d'anxiété, tant pour les nageurs et les nageuses que pour leurs entraîneurs. Ils peuvent donc être réticents à l'idée d'apporter des modifications à une stratégie de préparation terminale qu'ils ont construite progressivement et dans laquelle ils ont confiance, quand bien même elle peut éventuellement être améliorée. L'objectif de la troisième étape a donc été de faciliter l'appropriation de la démarche proposée par les scientifiques du projet D-day. Cela implique d'interroger les membres de l'équipe de France sur leurs habitudes et leurs croyances en matière de récupération, d'identifier les déterminants psychologiques qui leur permettront d'adopter de nouveaux comportements, et d'évaluer leurs préférences parmi les différentes méthodes proposées. Cela suppose également de s'intéresser aux spécificités des femmes, tant du point de vue psychologique que dans leur réponse physiologique aux interventions proposées.

Enfin, le but de la quatrième et dernière étape, qui a commencé en 2022, a été de mettre en place la démarche globale avant les grands événements qui jalonnent la route vers les Jeux olympiques (championnats de France, championnats d'Europe, championnats du monde). L'objectif ici était d'améliorer la pertinence du tableau de bord en identifiant les indicateurs qui sont les plus sensibles, mais aussi d'évaluer l'efficacité des méthodes de récupération proposées afin de ne retenir que celles qui ont un réel impact pour chaque nageur



Le nageur français Florent Manaudou. © Iconsport

et chaque nageuse. En d'autres mots, il s'agissait d'individualiser l'approche globale.

Au total, le projet D-day a mobilisé 175 nageurs et nageuses de haut niveau pendant les deux premières étapes expérimentales, et 61 nageurs et nageuses membres de l'équipe de France pendant les troisième et quatrième étapes. Le premier bilan confirme que ce type d'approche nécessite du temps pour être mise en œuvre de façon efficace, que ce soit pour identifier les stratégies individuelles, mais aussi pour accompagner leur intégration aux stratégies de préparation terminale. Si cette dernière problématique avait été anticipée pour les nageurs et les nageuses dans le cadre de la troisième étape, elle a clairement été sous-estimée pour les entraîneurs. En effet, les contraintes sportives et extra-sportives qui pèsent sur leurs épaules sont telles, notamment en seconde partie de cycle

olympique, qu'elles ne leur laissent que trop peu de disponibilité mentale pour repenser leur système d'entraînement en intégrant ce type d'approche. Au-delà de la formation, cela souligne surtout l'importance d'une mise à disposition pérenne de conseillers scientifiques susceptibles de comprendre leurs questions, puis de co-construire avec eux les éléments de réponse. Il s'agit de l'un des enjeux les plus importants à la suite de ce premier programme prioritaire de recherche « Sport de très haute performance » : trouver le juste équilibre entre le lancement de nouveaux projets ambitieux, et la sanctuarisation de ressources humaines dont le but sera de mettre en œuvre les résultats issus des projets en cours.

Plus d'informations sur le projet D-day : <https://move.labo.univ-poitiers.fr/projet-d-day/>

Bibliographie

- Arc-Chagnaud, C., Dupuy, O., Garcia, M., Bosquet, L., Bouzigon, R., Pla, R., ... & Dugué, B. (2024). Effects of repeated cryostimulation exposures on sleep and wellness in healthy young adults. *Cryobiology*, *117*, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2024.104948>
- Banister, E. W. et Fitz-Clarke, J. R. (1993). Plasticity of response to equal quantities of endurance training separated by non-training in humans. *J Therm Biol*, *18*, 587-597. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(93\)90097-D](https://doi.org/10.1016/0306-4565(93)90097-D)
- Bosquet, L., Bretonneau, Q., Pla, R., Vachon, A. et Morales-Artacho, A. (2024). Peaking for the Olympic Games. An integrated approach developed with the French national swimming team for Paris 2024. *J Strength Cond Res*. sous presse.
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvais, D. et Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, *39*, 1358-1365. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31806010e0>
- Bosquet, L. et Mujika, I. (2015). *L'affûtage*. 4 Trainer.
- Bretonneau, Q., Morales-Artacho, A., Pla, R. et Bosquet, L. (2024). Effect of the pre-taper level of fatigue on the taper-induced changes in performance in elite swimmers. *Frontiers in Sports and Active Living*, *6*, 1353817. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1353817>
- Coutts, A. J. (2014). In the age of technology, Occam's razor still applies. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*, 741. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0353>
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Julian, R. et al. (2017). A new method to individualize monitoring of muscle recovery in athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*, 1137-1142. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0120>
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L. et al. (2018). Recovery and performance in sport: consensus statement. *Int J Sports Physiol Perform*, *13*, 240-245. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0759>
- Pasquier, F., Pla, R., Bosquet, L., Sauvet, F., Nedelec, M. et D-day consortium. (2023). The impact of multisession sleep-hygiene strategies on sleep parameters in elite swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*, <https://doi.org/10.1123/ijspp.2023-0018>
- Robertson, S., Bartlett, J. D. et Gastin, P. B. (2017). Red, amber, or green? Athlete monitoring in team sport: the need for decision-support systems. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*, 73-79. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0541>
- Roete, A. J., Elferink-Gemser, M. T., Otter, R. T. A., Stoter, I. K. et Lamberts, R. P. (2021). A systematic review on markers of functional overreaching in endurance athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, *16*, 1065-1073.
- Thornton, H. R., Delaney, J. A., Duthie, G. M. et Dascombe, B. J. (2019). Developing athlete monitoring systems in team sports: data analysis and visualization. *Int J Sports Physiol Perform*, *14*(6), 698-705. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0169>
- Travis, S. K., Mujika, I., Gentles, J. A., Stone, M. H. et Bazyler, C. D. (2020). Tapering and peaking maximal strength for powerlifting performance: a review. *Sports*, *8*, 125-142. <https://www.mdpi.com/2075-4663/8/9/125>
- Vachon, A., Sauvet, F., Pasquier, F., Paquet, J. B. et Bosquet, L. (2023). Effects of a sleep hygiene strategy on parameters of sleep quality and quantity in youth elite rugby union players. *Int J Sports Physiol Perf*, 1-8, <https://doi.org/10.1123/ijspp.2023-0069>
- Verboon, P. et Peters, G.J.Y. (2020). Applying the generalized logistic model in single case designs: Modeling treatment-induced shifts. *Behav Modif*, *44*, 27-48. <https://doi.org/10.1177/0145445518791255>

PARAPERF

Optimisation de la performance paralympique : de l'identification à l'obtention de la médaille

Nicolas Forstmann

Institut de recherche bio-médicale et d'épidémiologie du sport (IRMES), UPR 7329,
Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP)

Julien Schipman

Institut de recherche bio-médicale et d'épidémiologie du sport (IRMES), UPR 7329,
Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP)

Bryan Le Toquin

Institut de recherche bio-médicale et d'épidémiologie du sport (IRMES), UPR 7329,
Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP),
Fédération française handisport, France

Jean-François Toussaint

Institut de recherche bio-médicale et d'épidémiologie du sport (IRMES), UPR 7329,
Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP),
Université de Paris, Paris, France, Centre d'investigations en médecine du sport (CIMS),
Hôtel-Dieu, Assistance Publique - Hôpitaux de Paris, Paris, France





Le projet Paraperf bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-19-STHP-0005.

Depuis 1960 à Rome, date et lieu de la première compétition, huit disciplines ont regroupé 209 para-sportives et para-sportifs où seuls les blessés médullaires (lésion de la moelle épinière) pouvaient participer. Au fil du temps, les Jeux paralympiques (JP) ont connu un développement spectaculaire (Tweedy et Howe, 2011). De nouveaux sports et un plus large éventail de handicaps ont été intégrés afin de témoigner de l'ouverture et de l'accès au sport à l'ensemble des personnes en situation de handicap (Ferez *et al.*, 2020). L'évolution des JP est caractérisée par le passage du sport en tant que compétition à visée thérapeutique à celui d'événement réservé à des para-sportives et sportifs de haut niveau, tenant compte d'un investissement croissant des nations (Gold et Gold, 2007). En 2021, les JP de Tokyo ont accueilli environ 4 400 sportives et sportifs de 162 pays concourant dans 23 disciplines.

La performance paralympique est un champ peu exploré des sciences du sport. Sur les trente dernières années, on dénombre une publication scientifique portant sur le sport paralympique pour six dans le sport olympique. Ces dernières années, les sciences du sport se sont impliquées progressivement dans le champ du sport paralympique avec une augmentation significative du nombre de publications annuelles depuis 2011 (Pilon et Prince, 2024).

L'identification d'un neuvième défi « Paralympique » par l'appel à projet du Programme prioritaire de recherche (PPR) « Sport de très haute performance » a créé des conditions favorables à la proposition d'un projet pluridisciplinaire dédié à la performance paralympique. La diversité des champs scientifiques investis (épidémiologie,

physiologie, biomécanique, médecine, physique, sociologie, droit, psychologie) permet d'appréhender les différentes dimensions de la performance paralympique (environnements de préparation, suivi de l'entraînement, couple athlète-matériel, estimation de potentiel, analyse de résultats et stratégies en compétition) avec une approche holistique.

“... Paraperf est organisé en trois axes qui portent respectivement sur l'analyse des résultats en compétition, l'évaluation et l'optimisation du couple athlète-fauteuil...”

Élaboré en concertation avec la Fédération française handisport et la Fédération française de tir, Paraperf s'appuie sur un socle de travaux antérieurs que le cadre exceptionnel du PPR a permis de développer de manière intensive et extensive. Il concerne treize des vingt-deux sports paralympiques d'été prévus à Paris en 2024 et implique treize laboratoires. L'objectif général du projet est d'améliorer la connaissance des spécificités de la très haute performance paralympique et de fournir des informations et outils fiables, utiles aux encadrements et aux parasportifs jusqu'aux Jeux de Paris et au-delà. Afin de répondre à cet objectif, Paraperf est organisé en trois axes qui portent respectivement sur l'analyse des

résultats en compétition, l'évaluation et l'optimisation du couple athlète-fauteuil et sur la compréhension des environnements favorables à la performance des athlètes. Ces travaux sont déployés en fonction des besoins exprimés par les disciplines accompagnées et des données disponibles.

Trajectoires et estimation de potentiel

Le premier axe concerne les résultats réalisés en compétition et vise à fournir des outils d'aide à la décision. Il consiste à analyser les performances des athlètes français, à modéliser leur trajectoire de progression et à les situer dans le contexte concurrentiel de leur discipline. L'objectif est de développer et d'adapter ces méthodes d'analyse aux spécificités des disciplines paralympiques. En termes de transfert vers le terrain, ces outils ont été développés avec les encadrements et mis à leur disposition ainsi qu'à celle des directeurs de performance.

La première étape a consisté à récolter l'ensemble des données de compétition disponibles. Si dans le champ olympique, des fournisseurs sont en mesure de proposer l'accès à l'exhaustivité des résultats des compétitions internationales, dans le champ paralympique, ces intermédiaires ne disposent que de données lacunaires. Le recul et les données disponibles varient selon les sports, ce qui détermine les analyses réalisables. Après explorations préliminaires, les encadrements des disciplines concernées ont été associés pour identifier les analyses et indicateurs les plus pertinents.

Les analyses proposées visent à la fois à apprécier le niveau et la dynamique de performance des athlètes français, ainsi que le contexte concurrentiel (Schipman *et al.*, 2021, 2022). Les résultats sont ensuite mis à disposition des encadrements via des applications web. Des analyses spécifiques à certaines disciplines ont été conduites pour appréhender les stratégies des nations concurrentes et les scénarii de certaines épreuves.

L'analyse de la progression des sportifs et l'estimation de leur potentiel sont faites en situant ces derniers par rapport aux meilleures performances réalisées par année. Les informations fournies



L'équipe de France cécifoot en finale contre l'Argentine lors des Jeux paralympiques 2024. ©Iconsport

aux encadrements intègrent l'écart aux meilleures performances (1^{er}, podium, finalistes) et la densité de la concurrence. La progression et le potentiel des sportifs sont aussi évalués au regard des meilleures performances par âge de l'ensemble des compétiteurs référencés dans la base de données. Cela permet de situer leur progression par rapport à leurs pairs. Ces analyses s'appuient sur la relation entre l'âge et la performance, largement étudiée par l'IRMES dans le champ olympique (Berthelot, 2019 ; Berthelot *et al.*, 2012) et sont l'occasion d'apprécier sa pertinence dans le parasport (Le Toquin *et al.*, 2022 ; Schipman *et al.*, 2019).

Les outils fournis permettent de comparer plusieurs sportifs ou collectifs et proposent des visualisations travaillées avec les staffs afin qu'elles soient les plus intuitives possible. D'autres fonctionnalités ont été ajoutées pour certains sports comme la possibilité de générer des bilans à l'issue des compétitions, d'analyser les stratégies d'engagement des nations concurrentes ou encore de simuler des rencontres dans les sports de confrontation et l'impact du résultat sur le classement. Pour certaines épreuves combinées ou réalisées en plusieurs manches, des analyses ont été menées pour identifier les moments déterminants pour l'issue de la confrontation.

Enfin, les règlements définissant les modalités de qualification pour les Jeux de Paris ont été étudiés pour fournir la liste des sportifs qualifiés selon les différentes possibilités (classements lors de compétitions de référence, minima et classement sur la période de référence, etc.), identifier les potentiels qualifiés ainsi que les écarts avec leurs « poursuivants ».

Optimisation du couple sportif-fauteuil

Le deuxième axe du projet vise à optimiser les performances des athlètes en fauteuil. Sur les vingt-deux sports aux JP, douze nécessitent l'utilisation de fauteuils roulants manuels. Les champs de recherche privilégiés sont : la stabilité pour les sports de précision, la maniabilité pour le rugby, le basket-ball, le badminton et la réduction de la résistance au roulement pour des épreuves d'athlétisme. La configuration optimale repose sur un compromis entre les capacités de l'athlète, les exigences de sa discipline et les contraintes relatives au matériel.

Cet axe investit à la fois l'évaluation des athlètes, le développement d'outils de mesure et la conception de matériel. Les évaluations proposées aux athlètes varient selon leur discipline. Pour les sports « dynamiques » (sports collectifs, badminton, athlétisme), les fauteuils sont équipés de centrales inertielles permettant de quantifier le déplacement et la cinétique de propulsion sur des tests standardisés (évaluant la capacité à sprinter ou la maniabilité). Elles sont placées sur chaque roue, sur le cadre du fauteuil et sur le tronc du sportif. Ces capteurs permettent d'enrichir l'analyse des performances et des capacités de l'athlète en mesurant la cadence de propulsion, la vitesse et l'accélération. Différentes modalités de tests sont proposées, avec et sans raquette par exemple (Alberca *et al.*, 2022), en fonction des besoins identifiés avec les staffs et les athlètes. Ces tests en situation de pratique, avec les fauteuils utilisés en compétition offrent la possibilité de mesurer les effets de nouveaux réglages



Le rugbyman français Sébastien Verdin lors des Jeux paralympiques 2024. ©Iconsport

ou d'un nouveau fauteuil afin de valider ou non ces choix.

Les capacités physiologiques des sportifs sont évaluées sur un ergomètre à bras afin que les athlètes soient dans des conditions comparables, quel que soit leur sport. À l'issue de ces tests, des rapports sont présentés et transmis aux encadrements et aux athlètes. Ces échanges visent à faciliter l'intégration de ces informations pour la prise de décision et l'ajustement des entraînements.

Des ergomètres adaptés aux sportifs en situation de handicap ont été développés. Un ergomètre balistique évalue le profil force-vitesse-puissance des membres supérieurs indépendamment de la technique de propulsion en fauteuil. Un second ergomètre offrant la possibilité de modifier

la configuration du fauteuil (position de l'assise, taille des roues, carrossage) et de mesurer les paramètres d'efficacité de la propulsion a également été développé.

Pour faciliter les évaluations en condition de pratique, deux roues instrumentées ont été développées, l'une spécifique à l'athlétisme, l'autre aux sports collectifs ; elles permettent notamment de mesurer la puissance exercée sur la main courante. Enfin, un *dérpomètre* permet de tester différentes configurations de roues (pneu, jante, pression) sur les surfaces de pratique, afin que les encadrements puissent affiner leur choix dans la dernière ligne droite.

Ces campagnes expérimentales permettent d'améliorer la connaissance scientifique sur le parasport et les capacités des athlètes selon la classification ou

le type de handicap. La collecte de ces données auprès de plusieurs équipes de France rend possible l'identification de valeurs de référence qui faciliteront à l'avenir l'appréciation des performances des sportifs évalués. De plus, les évaluations croisées avec plusieurs outils ont permis d'établir les relations entre les mesures réalisées avec ces outils (Brassart *et al.*, 2023). Le suivi proposé implique également une évaluation médico-technique réalisée par l'équipe du pôle Parasport du CHU Raymond Poincaré de Garches, qui permet d'intégrer la dimension médicale et préventive aux recommandations et choix discutés avec les partenaires sportifs. Cette coopération multidisciplinaire permet d'appréhender l'athlète dans sa globalité et d'individualiser au mieux les propositions.

“ Les résultats ont mis en évidence les liens entre l'optimisation de la performance et des facteurs psychologiques et sociaux (identités athlétique, personnelle, sociale ou organisationnelle, bien-être subjectif, psychologique, physique ou social, etc.). ”

Environnements et parcours des athlètes

Le troisième axe consiste à appréhender les facteurs psychosociaux, juridiques et environnementaux favorables à la très haute performance et à comprendre comment la préparation sportive et l'ensemble de l'environnement autour de la préparation sportive influent positivement ou négativement sur les performances des parasportifs.

Pour le volet sociologique, des questionnaires ont été soumis à 186 sportifs pré-accredités pour les Jeux paralympiques de Tokyo et les 142 encadrants qui les accompagnaient et 60 entretiens auprès des sportifs et des acteurs ont été réalisés. Dans le domaine juridique, la récolte a inclus 18 entretiens. Sur le versant psychologique, 98 sportifs inscrits sur liste ministérielle ont répondu à un questionnaire et 34 sportifs et membres de staffs ont participé à un entretien.

L'analyse des données au sein de cet axe a permis de créer une modélisation inédite des facteurs sociaux de la performance paralympique intégrant une caractérisation fine des conditions de préparation et des configurations relationnelles des athlètes paralympiques. Le modèle social de la performance paralympique développé peut s'appliquer à l'ensemble des disciplines paralympiques ; il s'adresse par ailleurs à l'ensemble des acteurs du monde paralympique, c'est-à-dire aux parasportifs eux-mêmes, aux entraîneurs, personnels et nationaux, mais aussi aux autres membres des staffs ainsi qu'aux cadres fédéraux.

Ce modèle facilite la compréhension de la performance paralympique à partir d'un

point de vue d'ensemble qui permet de clarifier la multiplicité et la complexité des facteurs de performance (Beldame *et al.*, 2024 ; Richard *et al.*, 2022). La modélisation a permis d'identifier quatre facteurs clés en jeu que sont les disponibilités, les expertises, les concurrences et les sociabilités. Ainsi, au lieu d'envisager l'ensemble de ces facteurs de façon éparsée et séparée, ce modèle a au contraire pour ambition de les rassembler puis de les observer dans leurs multiples articulations et interactions. Les données qualitatives issues des entretiens ont permis d'illustrer concrètement la complexité et la dynamique de chacun de ces déterminants.

Les résultats ont mis en évidence les liens entre l'optimisation de la performance et des facteurs psychologiques et sociaux (identités athlétique, personnelle, sociale ou organisationnelle, bien-être subjectif, psychologique, physique ou social, etc.). Ainsi, les résultats des sportifs ayant un handicap évolutif soulignent l'importance de réfléchir à un accompagnement spécifique. En outre, les analyses qualitatives et quantitatives montrent un faible recours à la préparation mentale ou à un suivi psychologique alors que des questions de reconnaissance sont présentes chez de nombreux sportifs. Développer ce suivi pourrait, dans certains cas, optimiser les performances. Enfin, l'étude spécifique sur les relations entre parasportif, accompagnateur (guide, assistant, pilote) et les autres acteurs de la performance ont permis de proposer des préconisations afin de mieux prendre en compte leur implication et de prévenir les conflits potentiels (Ngo et Pantaléon, 2022).

Le travail sur les enjeux juridiques a permis d'identifier des situations nécessitant des évolutions réglementaires, voire

un travail de doctrine plus approfondi (Ngo *et al.*, 2023). Les analyses menées ont permis d'identifier des situations non prévues par la réglementation actuelle en termes de statut des assistants/guides, des ajustements à proposer en matière de Surveillance médicale réglementaire (SMR), des situations de non-recours aux prestations compensatrices du handicap et une réflexion à mener sur les enjeux de responsabilité en matière de modification du matériel des sportifs.

Les résultats issus des travaux de l'axe environnement et parcours de l'athlète ont été transmis aux partenaires sportifs (Direction technique nationale, Direction de la performance et du haut niveau) sous différentes formes (rapports détaillés pour chacune des enquêtes, présentations, ateliers). Un guide construit à la suite des ateliers avec les encadrements des partenaires sportifs a été diffusé, il propose une synthèse des travaux menés dans la première phase du projet et des axes de remédiation. Un [livret](#) et un [site internet](#) complètent les supports de restitution afin que chacun puisse opter pour le format le plus adapté.

Le renforcement des ressources dédiées à la performance paralympique et la dynamique de collaboration entre équipes de recherche et les fédérations impliquées ont permis à Paraperf de proposer des avancées significatives et de passer un cap en termes de recherche et d'accompagnement scientifique à la performance paralympique. Le recueil inédit de données sur le parasport, aussi bien en termes de quantité que de diversité, crée des conditions favorables à l'adoption d'une approche holistique de la performance paralympique.

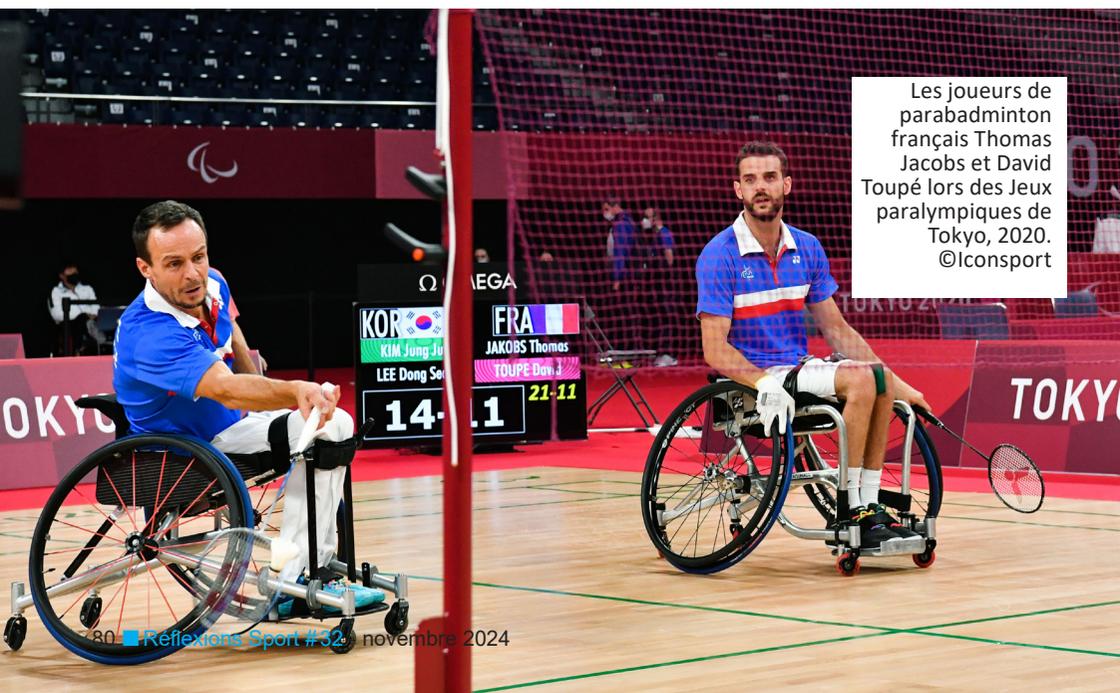
La meilleure connaissance mutuelle entre la sphère scientifique et sportive conduit à affiner les questionnements et développer de nouvelles collaborations qui ont pu débuter pendant le projet et iront au-delà. En ce sens, plusieurs thèses Cifre ont pu être mises en place avec des fédérations ou des entreprises pour prolonger et spécifier les travaux engagés depuis 2020. La mise en place d'une thèse Cifre en 2021 portant sur le badminton en fauteuil, a notamment précédé et facilité l'intégration, l'année suivante, de la Fédération française de badminton au projet. Enfin, Le diplôme inter-universitaire Parasport, lancé en janvier 2024, inscrit dans le temps le transfert des résultats et méthodes développés dans le cadre de Paraperf vers les encadrements des sportifs paralympiques. L'objectif est de contribuer à la dynamique de montée en expertise des encadrements et au renforcement de l'accompagnement scientifique à la performance paralympique.

Bibliographie

Alberca, I., Chénier, F., Astier, M., Combet, M., Bakatchina, S., Brassart, F., Vallier, J.-M., Pradon, D., Watier, B. et Faupin, A. (2022). Impact of holding a badminton racket on spatio-temporal and kinetic parameters during manual wheelchair propulsion. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 862760. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.862760>

Beldame, Y., Joncheray, H., Duquesne, V. et Richard, R. (2024). "They don't really Care about my results, they prefer selling my life story." Inspirational paralympians and sponsorship. *Communication & Sport*, 12(2), 194-209. <https://doi.org/10.1177/21674795231158542>

Berthelot, G. (2019). An integrative modeling approach to the age-performance relationship in mammals at the cellular scale. *Scientific Report*, 9(1), 418. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36707-3>



Les joueurs de parabadminton français Thomas Jacobs et David Toupé lors des Jeux paralympiques de Tokyo, 2020. ©Iconsport

- Berthelot, G., Len, S., Hellard, P., Tafflet, M., Guillaume, M., Vollmer, J.-C., Gager, B., Quinquis, L., Marc, A. et Toussaint, J.-F. (2012). Exponential growth combined with exponential decline explains lifetime performance evolution in individual and human species. *AGE*, 34(4), 1001-1009. <https://doi.org/10.1007/s11357-011-9274-9>
- Brassart, F., Faupin, A., Hays, A., Watelain, E. et Weissland, T. (2023). Relationship of force-velocity profile between field sprints and lab ballistic or cycling ergometer for wheelchair basketball players. *Applied Sciences*, 13(13), 7469. <https://doi.org/10.3390/app13137469>
- Ferez, S., Ruffié, S., Joncheray, H., Marcellini, A., Pappous, S. et Richard, R. (2020). Inclusion through sport: A critical view on paralympic legacy from a historical perspective. *Social Inclusion*, 8(3), 224-235. <https://doi.org/10.17645/si.v8i3.2735>
- Gold, J. R. et Gold, M. M. (2007). Access for all: The rise of the Paralympic Games. *Journal of the Royal Society for the Promotion of Health*, 127(3), 133-141. <https://doi.org/10.1177/1466424007077348>
- Le Toquin, B., Schipman, J., De Laroche Lambert, Q., Saulière, G., Duncombe, S. et Toussaint, J.-F. (2022). Is the visual impairment origin a performance factor? Analysis of international-level para swimmers and para athletes. *Journal of Sports Sciences*, 40(5), 489-497. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1999618>
- Ngo, M.-A. et Pantaléon, N. (2022). La mise sur liste ministérielle des sportifs valides participant à la performance paralympique : du caractère empirique au caractère systémique. *Les cahiers de droit du sport* (« Accompagnement des sportifs de haut niveau, Spécial »), 87-91.
- Ngo, M.-A., Pantaleon, N., Richard, R., Joncheray, H. et Beldame, Y. (2023). Les spécificités des paraspports mésestimées par le droit français. *Amplitude du droit*, 2. <https://doi.org/10.56078/amplitude-droit.440>
- Pilon, F. et Prince, F. (2024). Does producing scientific articles lead to paralympic podiums? *Biomechanics*, 4(1), 123-143. <https://doi.org/10.3390/biomechanics4010008>
- Richard, R., Burlot, F., Duquesne, V. et Joncheray, H. (2022). "I had a dream: It was to play the games". Sports socialisation processes of French paralympic athletes. *European Journal for Sport and Society*, 19(2), 99-116. <https://doi.org/10.1080/16138171.2021.1878438>
- Schipman, J., Gallo, P., Marc, A., Antero, J., Toussaint, J.-F., Sedeaud, A. et Marck, A. (2019). Age-related changes in para and wheelchair racing athlete's performances. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2019.00256>
- Schipman, J., Saulière, G., Le Toquin, B., Marc, A., Forstmann, N., Toussaint, J.-F. et Sedeaud, A. (2021). Involvement in multiple race events among international para and non-disabled swimmers. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 608777. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.608777>
- Schipman, J., Saulière, G., Marc, A., Hamri, I., Le Toquin, B., Rivallant, Y., Difernand, A., Toussaint, J.-F. et Sedeaud, A. (2022). The COVID-19 pandemic impact on the best performers in athletics and swimming among paralympic and non-disabled athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 62(12), 1605-1614. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.22.13365-7>
- Tweedy, S. et Howe, P. D. (2011). Introduction to the paralympic movement. Dans Y. C. Vanlandewijck et W. R. Thompson (dir.), *The Paralympic Athlete* (1^{re} éd., p. 1-30). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444328356.ch1>

TrainYourBrain, un programme de préparation mentale pour optimiser la lucidité et l'engagement en match



Marjorie Bernier

Université de Bretagne occidentale, Centre de recherche sur l'éducation,
les apprentissages et la didactique, F-29200 Brest, France

Kévin Haffner

Nantes Université, laboratoire Motricité, interactions, performance
(MIP, UR 4334), F-44000 Nantes, France

Pierre Bagot

Université de Bretagne occidentale, Centre de recherche sur l'éducation,
les apprentissages et la didactique, F-29200 Brest, France

Julie Doron

Nantes Université, laboratoire Motricité, interactions, performance
(MIP, UR 4334), F-44000 Nantes, France



Le projet TrainYourBrain bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-20-STHP-005.

En escrime, vaincre son adversaire nécessite de déployer d'importants efforts physiques et psychologiques. Parfois, il arrive que nous passions beaucoup de temps à nous battre contre nous-mêmes, contre nos émotions, nos pensées et nos sensations. « On ne peut pas arrêter les vagues, mais on peut apprendre à surfer », expliquait Jon Kabat-Zinn, spécialiste de la pleine conscience. Dans le cadre du projet TrainYourBrain, un programme de préparation mentale basé sur la pleine conscience a été mis en œuvre auprès des athlètes des pôles France et Relèves de la Fédération française d'escrime (FFE).

La pleine conscience, une approche nouvelle de la préparation mentale

En psychologie du sport, il existe différentes approches et conceptions qui ont évolué avec le temps. Nous pouvons ainsi en distinguer deux : les approches dites « traditionnelles », plus anciennes, et les approches de pleine conscience, plus récentes.

Les approches dites traditionnelles, telles que le discours interne positif, la relaxation ou la visualisation positive, visent à modifier le contenu des pensées et des émotions que nous ressentons. Ces approches cherchent à transformer notre discours interne négatif en positif, à modifier nos mauvaises pensées, à lutter contre notre stress, à changer nos émotions négatives en émotions positives. En bref, un sacré combat ! En effet, ce qui peut être reproché à ces approches, c'est qu'elles demandent aux athlètes de produire un effort supplémentaire pour gérer leurs

sensations, émotions et pensées. Gardner et Moore (2004) ont d'ailleurs souligné que ces approches pouvaient augmenter la charge cognitive ressentie. Penser à ne pas penser, s'empêcher de, lutter contre, sont autant d'efforts qui nous éloignent de l'objectif principal. Et ces efforts peuvent même s'avérer vains : plus on essaye d'éviter de penser à quelque chose, plus on y pense. Ce phénomène renvoie au processus ironique mis en évidence par Wegner en 1994 et qui peut être illustré par l'exercice de l'ours blanc. À la consigne « ne pensez surtout pas à un ours blanc », l'image de l'ours blanc apparaît vivement et plus on cherchera à la supprimer, plus l'image de l'ours sera présente.

Comme alternative aux approches traditionnelles, des approches plus récentes de la préparation mentale proposent d'envisager une nouvelle relation avec ses sensations, ses pensées et ses émotions. Plutôt que de les voir comme des dysfonctionnements ou des problèmes à résoudre, les approches basées sur la pleine conscience reposent sur l'acceptation de ces états. Nous pouvons définir la pleine conscience comme :

« la focalisation volontaire de son attention sur l'expérience présente (ses sensations, ses pensées, ses émotions) sans poser de jugement » (Fournier et Bernier, 2023).

L'objectif de cette approche est ainsi de prendre de la distance vis-à-vis de ses ressentis, en les considérant comme des événements passagers. En fournissant moins d'efforts pour « lutter contre », nous sommes plus disposés à porter notre

Tableau 1 – Différences entre approches traditionnelles et approches basées sur la pleine conscience.

Approches traditionnelles	Approches de pleine conscience
Contrôle et diminution des émotions	Acceptation des émotions
Modification du contenu des pensées	Distanciation face aux pensées
Effort supplémentaire orienté sur soi	Effort orienté sur la tâche

attention sur les éléments pertinents pour notre performance.

Trois mécanismes principaux sont à l'œuvre dans les approches basées sur la pleine conscience :

- La lucidité : la capacité à être conscient du moment présent, de son état et des distractions.
- L'acceptation : la capacité à « faire avec » ses pensées, émotions, sensations sans les juger, sans chercher à les modifier ou à les supprimer.
- La re-concentration : la capacité à ramener son attention sur les éléments essentiels de sa performance après une perturbation/distraction.

“ En fournissant moins d'efforts pour “lutter contre”, nous sommes plus disposés à porter notre attention sur les éléments pertinents pour notre performance ”

La pleine conscience : des effets et résultats avérés

De nombreuses études ont montré les bénéfices de la pleine conscience sur la santé physique et mentale au travail (Michaelsen *et al.*, 2023), en milieu scolaire (Laukkonen *et al.*, 2020) et en contexte sportif (Myall *et al.*, 2023).

Concernant la performance sportive, Marc Lochbaum et ses collaborateurs (2022) ont réalisé un travail conséquent de synthèse des études existantes afin de mieux comprendre l'impact de différents types d'intervention en psychologie du sport sur les performances sportives. Les résultats mettent en lumière des bénéfices notables des interventions basées sur la pleine conscience.

Des programmes dédiés à la pleine conscience dans le sport, tels que le « Mindfulness Sport Performance Enhancement » (Kaufman *et al.*, 2009) et la « Pleine Conscience pour la Performance » (Fournier et Bernier, 2023) ont ainsi démontré leur efficacité pour :

- une meilleure régulation de l'attention et des émotions ;
- une diminution de l'anxiété ;

- une amélioration des performances sportives auto-évaluées ;
- une amélioration des résultats sportifs (classement).

Au vu des nombreux bénéfices évoqués dans la littérature, il semble également nécessaire de « développer des interventions plus adaptées aux besoins des sportifs et aux spécificités des disciplines sportives » (Ben Salha et Fournier, 2022). Tel a été l'objectif du programme TrainYourBrain, conçu spécifiquement pour les athlètes de haut niveau en escrime.

TrainYourBrain : un programme de pleine conscience intégré à l'entraînement en escrime

Un aperçu du projet

Pour relever le défi et être au rendez-vous de Paris 2024, les athlètes français devaient réussir à gérer les fortes attentes qui reposaient sur leurs épaules. Après les cinq médailles obtenues aux Jeux olympiques de Tokyo, les entraîneurs de l'équipe de France expliquaient que l'un des principaux obstacles à leur réussite était l'incapacité à réguler leur concentration, leur engagement et leurs émotions dans des situations à fort enjeu. De plus, les athlètes qui ont participé à l'une de nos études au cours d'une journée de compétition simulée (Fig. 1) soulignaient que rater une action, concéder une touche, gérer les décisions arbitrales, les pauses ou bien la pression imposée par l'adversaire, sont des situations particulièrement perturbantes qui exigent une régulation optimale. Le bilan positif des

escrimeurs et escrimeuses de l'équipe de France aux Jeux olympiques de Paris 2024 a confirmé que l'escrime figurait parmi les sports français les plus titrés (7 médailles en 12 épreuves) et que les athlètes médaillés avaient réussi à déployer des stratégies mentales efficaces le jour J.



Figure 1 – Journée de compétition simulée en escrime.

Pour répondre aux exigences physiques et mentales de la compétition de haut niveau, l'équipe de recherche du projet TrainYourBrain, menée en collaboration avec la FFE, a développé et testé des méthodes d'entraînement mental intégrées aux séances d'entraînements, dont un programme de pleine conscience. Ce programme s'inspire de nos initiatives précédentes dans d'autres disciplines sportives, telles que le golf (Bernier *et al.*, 2009), le patinage artistique (Bernier *et al.*, 2014), le badminton (Doron *et al.*, 2020), et le basket-ball (Goisbault *et al.*, 2022 ; Tebourski *et al.*, 2022).

“... développer les habiletés de pleine conscience pour améliorer la lucidité et l’engagement en match.”

Le programme TrainYourBrain, mis en œuvre auprès d’une cinquantaine d’athlètes des pôles France et Relèves de la FFE, visait à développer les habiletés de pleine conscience pour améliorer la lucidité et l’engagement en match. Trois modules, conduits par des préparateurs mentaux, ont permis de clarifier les notions clés du programme et d’intégrer des exercices et outils concrets au sein des entraînements d’escrime. Entre les modules, les athlètes étaient encouragés à pratiquer la pleine conscience à l’aide d’enregistrements audio, environ 5 à 10 minutes par jour, cinq jours par semaine. Les différents éléments du programme sont détaillés dans le tableau 2.

Tableau 2 – Déroulement et contenu du programme TrainYourBrain.

MODULE 1	Connaître ses armes
Objectif	Développer les habiletés de lucidité et d’acceptation
Séances	<ul style="list-style-type: none"> • 2 séances collectives en salles • 2 séances intégrées • 1 séance débriefing individuelle
Séances audios en autonomie	• 5 par semaine pendant 2 semaines
Exemples d’outils proposés	• Fiche focus

MODULE 2	Engagement
Objectif	Développer son engagement vers les points pertinents pour sa performance
Séances	<ul style="list-style-type: none"> • 2 séances collectives en salle • 2 séances intégrées • 1 séance débriefing individuelle
Séances audios en autonomie	• 5 par semaine pendant 3 semaines
Exemples d’outils proposés	• Fiche engagement

MODULE 3	Mind, body, go
Objectif	Mettre en place une routine de re-concentration
Séances	<ul style="list-style-type: none"> • 2 séances collectives en salle • 2 séances intégrées • 1 séance préparation à la compétition + 1 séance débriefing
Séances audios en autonomie	• 5 par semaine pendant 3 semaines
Exemples d’outils proposés	• Conférence d’un pilote de chasse formé à la pleine conscience

Effets perçus

Les entretiens réalisés à l'issue du programme avec les athlètes ont permis de mettre en avant les bénéfices perçus d'un tel programme.

Un sabreur a notamment exprimé qu'il était maintenant plus à même de « faire attention à ce qu'il se passe et aux ressentis intérieurs [...] à ce qu'[il] ressent pendant les matchs ». Cette capacité à être plus lucide l'a également aidé à orienter son engagement sur ce qui est pertinent dans les situations : « Se focaliser, c'est quelque chose d'important. Sur les objectifs, sur ce que l'on veut faire et comment le faire. Pour tout ça, juste porter l'attention sur les choses importantes. »

Comme souligné précédemment, le but de la pleine conscience est d'accepter l'expérience dans toutes ses dimensions, sans chercher à la modifier : « C'est vrai que je me suis surpris [dans] des compétitions [à] être dans un état pas possible, où avant j'aurais été submergé par mes émotions, [et] là vraiment, je me suis dit, "bah écoute, il faut accepter que tu ne sois pas à 100 % comme d'habitude, [il] faut accepter tout ça", et en fait l'acceptation c'est une grande partie du travail. » Au lieu de se focaliser sur leurs « mauvaises » sensations, les athlètes préservent leur énergie et leurs efforts en acceptant le caractère transitoire de leurs émotions et pensées. *In fine*, ces apprentissages doivent être transférés lors de la compétition : « Moi, mon problème, c'était surtout sur la partie compétition où j'étais débordé d'émotions. Et le fait de pouvoir déjà d'une part identifier qu'est-ce qui se passe et ne pas subir, c'est déjà beaucoup,

mais encore plus pouvoir les gérer après, je trouvais ça vraiment très intéressant. »

Pour optimiser les effets des programmes de pleine conscience, les recherches dans les domaines de la santé et de l'éducation ont mis en évidence que l'adhésion des participants est un facteur déterminant. Dans le sport de haut niveau, ce sujet n'avait pas encore été exploré. Nous avons donc mené des entretiens pour identifier les principales barrières et les principaux facilitateurs de l'adhésion des sportifs et sportives à un programme de pleine conscience.

Comment favoriser l'adhésion des athlètes à un programme de pleine conscience ?

Ce qui limite l'adhésion des athlètes à la pleine conscience

Cette étude a permis de noter plusieurs points sur lesquels tout intervenant devrait être vigilant afin d'éviter de perdre, ou de ne pas obtenir, l'adhésion des athlètes. Une des barrières que nous avons pu mettre en avant est une attitude défavorable vis-à-vis de la pleine conscience, c'est-à-dire lorsque l'athlète émet des réticences ou n'adhère pas aux principes mêmes de la pleine conscience : « Tout ce qui est un peu pleine conscience et tout, c'était pas trop mon truc. »

Nous avons également constaté que pour certains athlètes, la préparation mentale doit être abordée de manière individuelle ; ils ou elles n'apprécient pas les séances en groupe et préféreraient un travail plus

personnalisé. Cet aspect est lié à la concurrence entre les athlètes d'un même groupe : « On n'a pas envie d'être suivi par quelqu'un qui a envie que tout le groupe performe. »

À partir de ces observations, nous recommandons aux intervenants de s'adapter aux besoins spécifiques des athlètes et à leur niveau initial en pleine conscience, et de bien clarifier dès le début les intérêts à suivre ce type de programme.

Comme toutes les habiletés impliquées dans la performance, le développement des habiletés de pleine conscience nécessite de l'entraînement, et une certaine quantité de pratique en autonomie qui peut poser problème : « Quand c'est trop libre, je ne le fais pas. »

Il est donc important de connaître à l'avance les efforts que sont prêts à fournir les athlètes pour pratiquer et de proposer une stratégie d'accompagnement adaptée (pratique guidée, séances courtes et diversifiées, rappels, etc.).

Ce qui favorise l'adhésion des athlètes à la pleine conscience

Nos travaux ont aussi pu mettre en avant un ensemble de facteurs facilitant l'adhésion des athlètes à la pleine conscience. Il ressort notamment que les athlètes les plus engagés étaient celles et ceux qui anticipaient des résultats positifs grâce à la pleine conscience ou qui constataient des progrès et des bénéfices sur leur performance au cours du programme : « J'ai senti que ça marchait, que ça avait des bienfaits sur moi et maintenant j'ai envie de continuer et d'approfondir pour que je puisse mieux maîtriser les outils. »

La relation avec l'intervenant qui conduit le programme est également cruciale, que ce soit dans sa posture, dans son comportement, dans les échanges, etc. En tant qu'intervenant, il est important d'être disponible, à l'écoute des athlètes et d'adopter une posture de non-jugement.

Bien que quelques rares athlètes aient évoqué la difficulté des séances de préparation mentale intégrées à l'entraînement, spécificité du projet TrainYourBrain (Fig. 2), beaucoup ont apprécié tester directement dans leur pratique le contenu proposé et ses effets : « Ce que moi j'ai préféré, c'était vraiment le switch échauffement-assaut, c'était rapide, c'est deux minutes pour nous, et ça pour moi c'était très puissant, c'était les meilleurs moments. »

Enfin, un autre aspect qui plaît aux athlètes et renforce leur adhésion est la mise à disposition d'« outils pratiques ». Par exemple, nous leur avons fourni des fiches conçues pour les aider à focaliser leur attention sur des points pertinents lors des matchs (Fig. 3), ainsi qu'une fiche pour orienter l'engagement de leurs ressources pendant la séance d'entraînement (Fig. 4). Intégrées à leur pratique et utilisées par les entraîneurs, ces deux fiches ont suscité un grand intérêt.

“... le but de la pleine conscience est d'accepter l'expérience dans toutes ses dimensions, sans chercher à la modifier...”



Figure 2 – Séances intégrées avec l'intervenant en préparation mentale.

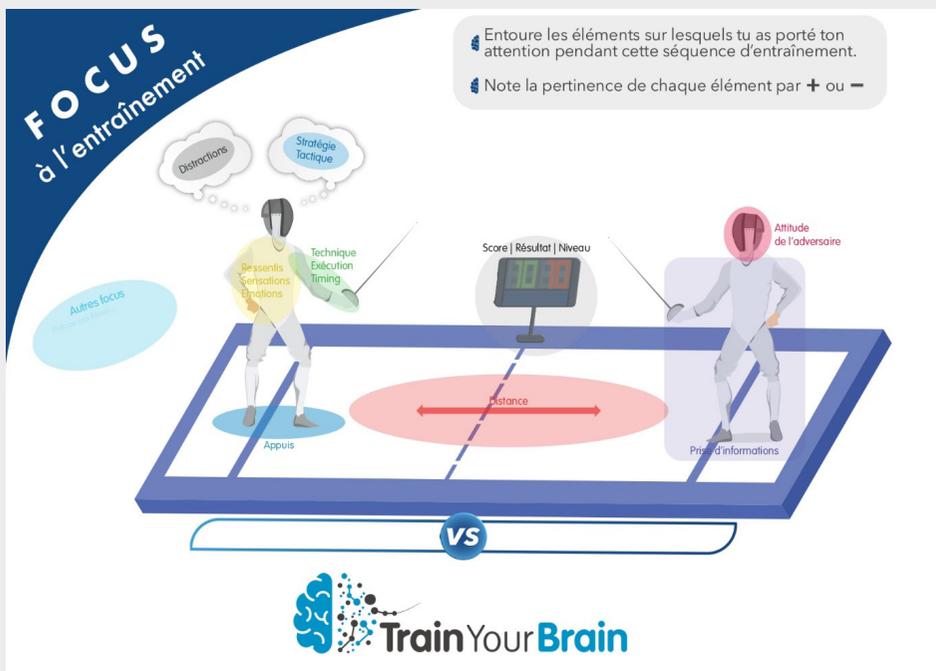


Figure 3 – Fiche focus à l'entraînement.

ENGAGEMENT

à l'entraînement



Nom :

Date de l'entraînement :

PRÉPARATION

Je veux faire...	Je me concentre sur ...

AUTOÉVALUATION

	Progression	Concentration	Remarques
1	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆	
2	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆	

DÉBRIEFING

Points de satisfaction : _____

Difficultés rencontrées : _____

Éléments à retenir : _____



Figure 4 – Fiche engagement à l'entraînement.

Conclusion

L'intérêt des recherches en psychologie du sport pour la pleine conscience et son application en préparation mentale ne cesse de croître. En étant plus conscients de leurs émotions, pensées et sensations, en les acceptant sans jugement, et en redirigeant volontairement leur attention vers les éléments pertinents, les athlètes parviennent à réguler leur attention, leurs émotions et leurs sensations afin de s'engager pleinement dans leur match.

Le projet TrainYourBrain a démontré la pertinence et la nécessité de mettre en place des programmes de pleine conscience intégrés aux entraînements. L'objectif désormais est de contribuer à la montée en compétences de l'encadrement sportif. L'ouverture d'une formation certifiante pour les entraîneurs de la FFE, et plus largement pour celles et ceux d'autres disciplines sportives, devrait permettre d'une part de

les sensibiliser à l'importance de développer les habiletés de pleine conscience chez les athlètes, et d'autre part de les aider à mettre en œuvre des séances intégrées à l'entraînement pour favoriser un apprentissage contextualisé et transférable.

Bibliographie

Bernier, M., Thienot, E., Codron, R. et Fournier, J. (2009). Mindfulness and acceptance approaches in sport performance. *Journal of clinical sport psychology*, 3(4), 320-333. <https://doi.org/10.1123/jcsp.3.4.320>

Bernier, M., Thienot, E., Pelosse, E. et Fournier, J. (2014). Effects and underlying processes of a mindfulness-based intervention with young elite figure skaters: Two case studies. *The Sport Psychologist*, 28, 302-315. <https://doi.org/10.1123/tsp.2013-0006>

Doron, J., Rouault, Q., Jubeau, M. et Bernier, M. (2020). Integrated mindfulness-based

Tableau 3 – Recommandations principales pour faciliter l'adhésion des athlètes à un programme de pleine conscience.

Les recommandations principales

Connaître l'attitude, le niveau et l'expérience en pleine conscience (ou en préparation mentale) des athlètes en amont.

Veiller à sa posture d'intervention, être présent·e, disponible, non jugeant·e et intégrer les exercices aux entraînements en proposant notamment des outils pratiques.

Recueillir régulièrement la perception des athlètes pour répondre à l'attente de résultats, accompagner l'autonomie et faire des retours individuels.

intervention: Effects on mindfulness skills, cognitive interference and performance satisfaction of young elite badminton players. *Psychology of Sport and Exercise*, 47, 101638. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.101638>

Fournier, J. et Bernier, M. (2023). *Mindfulness : pleine conscience pour la performance*. 4trainer.

Gardner, F. L. et Moore, Z. E. (2004). A mindfulness-acceptance-commitment-based approach to athletic performance enhancement: Theoretical considerations. *Behavior Therapy*, 35(4), 707-723.

Goisbault, M., Lienhart, N., Martinet, G. et Doron, J. (2022). An integrated mindfulness and acceptance-based program for young elite female basketball players: Exploratory study of how it works and for whom it works best. *Psychology of Sport and Exercise*, 60, 102157. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102157>

Kabat-Zinn, J. (2012). *Où tu vas, tu es*. JC Lattès.

Kaufman, K. A., Glass, C. R. et Arnkoff, D. B. (2009). Evaluation of mindful sport performance enhancement (MSPE): A new approach to promote flow in athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 3(4), 334-356. <https://doi.org/10.1123/jcsp.3.4.334>

Laukkonen, R., Leggett, J. M. I., Gallagher, R., Biddell, H., Mrazek, A., Slagter, H. A. et Mrazek, M. (2020). The science of mindfulness-based interventions and learning: A review for educators. <https://doi.org/10.31231/osf.io/6g9uq>

Lochbaum, M., Stoner, E., Hefner, T., Cooper, S., Lane, A. M. et Terry, P. C. (2022). Sport psychology and performance meta-analyses: A systematic review of the literature.

PloS one, 17(2), e0263408. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263408>

Michaelsen, M. M., Graser, J., Onescheit, M., Tuma, M. P., Werdecker, L., Pieper, D. et Esch, T. (2023). Mindfulness-based and mindfulness-informed interventions at the workplace: a systematic review and meta-regression analysis of RCTs. *Mindfulness*, 14(6), 1271-1304. <https://doi.org/10.1007/s12671-023-02130-7>

Myall, K., Montero-Marin, J., Gorczynski, P., Kajee, N., Sheriff, R. S., Bernard, R., et Kuyken, W. (2023). Effect of mindfulness-based programmes on elite athlete mental health: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 57(2), 99-108. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-105596>

Salha, M. B. et Fournier, J. (2022). Les interventions basées sur la pleine conscience et l'acceptation en sport : une revue de la littérature. *Staps*, 137(3), 99-119. <https://doi.org/10.3917/sta.pr1.0044>

Tebourski, K., Bernier, M., Ben Salha, M., Souissi, N. et Fournier, J. (2022). Effects of mindfulness for performance programme on actual performance in ecological sport context: two studies in basketball and table tennis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12950. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912950>

Wegner, D. M. (1994). Ironic processes of mental control. *Psychological Review*, 101(1), 34-52. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.1.34>

REVEA : vers une nouvelle génération d'outils d'entraînement virtuel dans le sport de haut niveau

Benoit Baguelin
Fédération française de gymnastique

Laurent Barbieri
Fédération française de gymnastique

Richard Cursaz
Fédération française d'athlétisme

Richard Kulpa
Université Rennes 2, laboratoire M2S et MimeTIC (INRIA)





Chloé Lesenne
Fédération française de boxe

Gilles Montagne
Aix-Marseille Université, CNRS, ISM, Marseille, France

Franck Né
Fédération française d'athlétisme

Frédéric Puel
Université de Reims Champagne-Ardenne, laboratoire Performance,
santé, métrologie, société (UR 7507)

Julien de Santa Barbara
Fédération française de boxe

Nicolas Tordi
Université de Franche-Comté

Le projet REVEA bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR 20-STHP-0004.

“... l'athlète est équipé de capteurs qui permettent d'analyser ses mouvements et donc de quantifier sa performance.”

Introduction

L'objectif du projet REVEA est de répondre, grâce à la réalité virtuelle, aux problématiques sportives soulevées par trois fédérations : en boxe, entraîner l'anticipation de la défense et contre-attaque sans encaisser de coups ; en athlétisme, entraîner les relayeurs du 4 × 100 m à l'instant de démarrage de leur course pour une transmission optimale ; en gymnastique, permettre de s'observer soi-même en train de réaliser une performance non maîtrisée encore. Malgré leurs spécificités, ces défis partagent une problématique commune : réussir à s'entraîner toujours davantage sans augmenter le risque de blessure. N'étant pas réalisable par les méthodes conventionnelles d'entraînement, le consortium a créé de nouvelles modalités d'entraînement complémentaires utilisant des athlètes virtuels comme adversaire, coéquipier ou comme jumeau numérique (Bideau *et al.*, 2010 ; Brault *et al.*, 2012 ; Stone *et al.*, 2018).

Pour mener à bien cet objectif ambitieux, pour créer et faire évoluer cette nouvelle génération d'outils d'entraînement en fonction des besoins des athlètes et des

entraîneurs, nous avons mis en place une approche co-construite entre les entraîneurs des fédérations (boxe, athlétisme et gymnastique) et les chercheurs des universités (Rennes 2, Aix-Marseille, Reims Champagne-Ardenne, Paris-Saclay) et de l'INSEP. Nous avons aussi travaillé à une stratégie de mitigation des risques de l'inclusion de ces nouvelles technologies dans le sport de très haut niveau.

Défense et contre-attaque en boxe

La boxe est un sport de combat, offensif par nature, où le boxeur (ou la boxeuse puisque le projet concerne les équipes masculines et féminines) doit réussir à frapper son adversaire pour prendre la victoire. Il doit cependant anticiper également les attaques et contre-attaques de son adversaire pour ne pas être lui-même touché. Or, la pression temporelle est très forte parce que les coups sont très rapides et lancés à une distance proche (Badau *et al.*, 2018). Le boxeur doit donc être capable d'anticiper, de prélever des informations sur les gestes de son adversaire pour identifier le coup qui va être produit avant même son lancement afin d'avoir le temps de réagir. Mais l'entraînement de l'anticipation est complexe puisqu'il faut que le boxeur encaisse de nombreuses répétitions d'attaque avec un risque important de blessure. De plus, pour être dans les conditions d'un vrai combat, il faudrait que le partenaire d'entraînement lui assène ses coups avec une véritable volonté de blesser, ce qui n'est pas le cas. Cet entraînement étant impossible, une alternative est le *shadow boxing*, qui consiste à boxer dans le

vide. Il ne permet cependant pas d'entraîner la prise d'informations sur l'adversaire ni d'améliorer son anticipation.

L'objectif du projet REVEA est de relever ce défi en proposant de nouvelles modalités d'entraînement complémentaires, impossibles à réaliser de manière conventionnelle, en mettant en opposition le boxeur réel face à un adversaire virtuel (Fig. 1). À cette fin, le boxeur est immergé, grâce à un casque de réalité virtuelle, dans une simulation de boxe dans laquelle l'adversaire est un boxeur expert numérique, qui est toujours disponible, qui a la volonté de blesser et dont on contrôle les attaques de manière précise. Cet adversaire peut être un boxeur ou une boxeuse, droitier ou gaucher, de différentes catégories de poids. Cet environnement permet donc un entraînement contextualisé et adapté dans lequel le boxeur peut agir et se déplacer librement et boxer de manière naturelle, sans les risques de blessure dus aux impacts

portés et reçus. De plus, l'athlète est équipé de capteurs (Fig. 2) qui permettent d'analyser ses mouvements et donc de quantifier sa performance. Il est donc possible de connaître, par exemple, le nombre de défenses réussies comme le nombre de contre-attaques produites et/ou achevées ainsi que la vitesse de frappe.

Le fait de pouvoir contrôler cette simulation et les mouvements de l'adversaire virtuel permet de proposer une large gamme de protocoles d'entraînement (Limballé *et al.*, 2022). C'est la co-construction permanente entre les entraîneurs de la fédération et les scientifiques du projet REVEA qui a permis de choisir et faire évoluer ces modalités d'entraînement : des entraînements spécifiques où des séquences de coups sélectionnés par les entraîneurs sont répétés indéfiniment, avec ou sans incertitude et variabilité des coups ; des entraînements focalisés sur le cadrage de son adversaire et enfin des entraînements



Figure 1 – Le casque de réalité virtuelle permet d'immerger le boxeur ou la boxeuse dans un entraînement contextualisé face à un adversaire virtuel.



Figure 2 – L'athlète est équipé de capteurs, *a minima* sur les poignets, pour évaluer sa performance.

Le système est installé à demeure au pôle France de Boxe à l'INSEP afin d'être facilement utilisé par les boxeurs et les entraîneurs.

auto-adaptatifs où le boxeur virtuel s'adapte à la performance réalisée pour individualiser l'entraînement et l'optimiser sans jamais mettre en situation d'échec.

Pour répondre aux exigences du haut niveau, des retours sur la performance réalisée sont fournis en temps réel sur l'écran de l'entraîneur et automatiquement à la fin de chaque séance.

“... programmer une session d'entraînement qui combine des essais réalisés dans des conditions variables.”

Relais 4 × 100 m

Le relais 4 × 100 m en athlétisme est une discipline qui requiert vitesse et précision. En effet, il s'agit de faire parcourir au témoin le tour de piste (400 m) en un minimum de temps, en dépit de trois passages de témoin successifs. Même si la vitesse de course est primordiale, la capacité des quatre athlètes à synchroniser leurs courses l'est tout autant (Boyadjian et Bootsma, 1999). Dans ce contexte, la qualité de la transmission du témoin est intimement liée au moment du départ de l'athlète en position de receveur. Lorsque l'athlète donneur passe à la verticale d'une marque placée au sol, l'athlète receveur doit commencer

sa course. Cela implique d'importantes capacités d'anticipation qui peuvent être optimisées grâce à un grand nombre de répétitions et à la mise à disposition de *feedbacks* qualitatifs (« tu es parti(e) trop tôt, trop tard ou au bon moment ») et/ou quantitatifs (« tu as commencé ta course 1,5 m avant la marque »). Malheureusement, il n'est pas possible pour les partenaires d'entraînement de répéter des vitesses de course maximales sous peine de se blesser et les outils de mesure utilisés sur le terrain (vidéo) permettent de restituer des mesures essentiellement qualitatives.

Le projet REVEA vise précisément à pallier ces difficultés (Montagne *et al.*, 2024). L'idée forte est de proposer un simulateur de relais permettant, grâce à des casques de réalité virtuelle, d'immerger l'athlète en position de receveur dans une réplique virtuelle du Stade de France, le but étant d'optimiser sa capacité à démarrer sa course au bon moment en présence de jumeaux numériques de son partenaire et de ses adversaires (Fig. 3). Différents capteurs placés sur la tête, sur les pieds et le bas du dos permettent de restituer des informations relatives à la performance produite et aux stratégies mises en œuvre (cinématique ou visuelle) en temps réel et en temps différé (Chomienne *et al.*, 2024).

Ce simulateur a été conçu et optimisé grâce à un dialogue permanent avec les entraîneurs des équipes de France de relais 4 × 100 m et les athlètes (cercles 1 et 2, U20). Les retours des athlètes ont été recueillis afin d'optimiser la solution proposée dans le cadre d'une démarche itérative. Une application a également été développée afin que l'entraîneur puisse paramétrer à sa convenance des sessions d'entraînement



Figure 3 – L'athlète est muni d'un casque de réalité virtuelle permettant une immersion complète propice à l'entraînement des capacités d'anticipation.

Photo : Franck Fife / AFP.

en réalité virtuelle. Il est ainsi possible de programmer une succession d'essais dans des conditions stables (par exemple un avatar du partenaire qui arrive toujours à 10 m/s, au niveau de la deuxième zone de transmission de relais, au couloir 5, sans adversaire, en présence d'une marque située à 8 m) (Fig. 4) ou, à l'inverse, de programmer une session d'entraînement qui combine des essais réalisés dans des conditions variables.

L'application permet également de générer des *feedbacks* à l'issue de chaque essai ou de chaque session d'entraînement sur la base des indicateurs de performance retenus par les entraîneurs (chronologie de

différents événements remarquables, erreur de timing dans le démarrage de la course, zones de prise d'information).

Parallèlement, différents programmes expérimentaux ont été mis en place afin de caractériser les comportements d'anticipation produits par les athlètes et de proposer, le cas échéant, des protocoles d'entraînement destinés à les optimiser (Egiziano *et al.*, 2023). L'objectif ici est de proposer des protocoles qui n'ont pas vocation à remplacer les entraînements traditionnels, mais à les compléter en mettant l'accent sur des secteurs d'optimisation de la performance difficiles à appréhender sur le terrain.



Figure 4 – Séance d’entraînement d’un athlète de l’équipe de France lors d’un rassemblement des athlètes dans le cadre de la préparation aux JO 2024.

Photo : Franck Fife / AFP.

Observation d’action en gymnastique

La partie gymnastique du projet REVEA vise une optimisation de la performance du collectif France en complétant le temps d’entraînement qui atteint jusqu’à 30 heures hebdomadaires par de l’entraînement en réalité virtuelle. L’idée sous-jacente est d’offrir au gymnaste la possibilité d’observer un enchaînement d’éléments virtuels dont l’agencement peut être modifié à la

demande. Par cette approche, il est également possible de faciliter l’immersion du sportif dans la réalisation d’un mouvement qu’il ne maîtrise pas encore totalement. Une équipe pluridisciplinaire de chercheurs s’est ainsi constituée dans l’optique de configurer un jumeau numérique spécifique à chaque gymnaste. Cette approche, qui s’inscrit dans une démarche scientifique de méthodes mixtes de recherche (Creswell et Plano Clark, 2017), comporte différentes étapes et, par conséquent, plusieurs problématiques à surmonter.

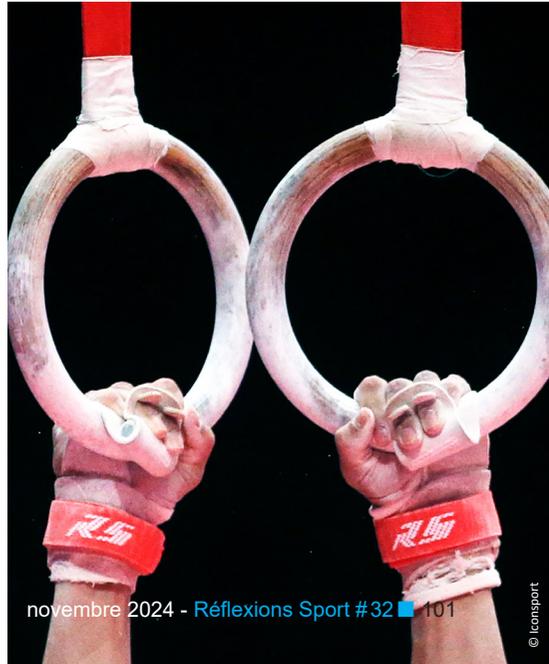
Un des points clés est notamment de favoriser l'état de présence du gymnaste lors de son entraînement en réalité virtuelle. Cela impose de proposer une cinématique de ses mouvements aussi fidèle que possible, associée à sa morphologie propre, et de prendre en compte son vécu et son ressenti personnel, pour enrichir l'expérience incarnée virtuelle.

Afin de faciliter l'immersion du gymnaste – indispensable à l'optimisation de l'apprentissage par observation – (Boutin *et al.*, 2010), lors de l'entraînement en réalité virtuelle, une exploration de l'expérience corporelle des gymnastes du collectif France a été menée au travers d'entretiens d'auto-confrontation, réalisés en marge de tests qualificatifs et de compétitions. Les résultats démontrent l'importance de la part sensorielle (kinesthésie-haptique, vue, audition) mais aussi leur attachement à la modélisation fine de certains éléments, comme les contacts avec l'agrès et les prises de main.

Les résultats permettent d'identifier différentes catégories de perceptions sensorielles ayant une influence manifeste pour les gymnastes : des sensations visuelles qui, selon le gymnaste et/ou l'élément réalisé, peuvent être égocentrées ou prises dans l'environnement extérieur ; des sensations auditives (par ex., bruits de l'agrès en retour de la gestuelle et de son rythme qui renseignent le gymnaste sur l'efficacité de son mouvement) ; des sensations kinesthésiques relatives au positionnement de son corps dans l'espace ; des sensations respiratoires, qui deviennent significatives quand elles accompagnent un mouvement, par exemple lors de phases statiques aux anneaux (Paintendre et Froissart, 2023).

Une autre question fondamentale consiste à tester les différentes modalités d'observation d'action afin d'identifier celles qui seraient le plus à même de contribuer à une amélioration des performances gymniques. Aux *feedbacks* traditionnellement utilisés à l'entraînement et en compétition (retours de l'entraîneur, replays vidéo, notation d'un juge) ont pu être associés des *feedbacks* issus des systèmes de mesure déployés (capture de mouvements sans marqueurs) : vidéos multi-vues et visualisation 3D des mouvements réalisés. Les résultats permettent de penser que ces modalités nouvelles peuvent faciliter l'apprentissage de certains mouvements connus mais peu maîtrisés.

S'il reste encore complexe à mettre en œuvre, l'entraînement en réalité virtuelle, s'il est individualisé et contextualisé, pourrait constituer un support pertinent en complément de l'entraînement usuel des gymnastes.



“... identifier le niveau d’acceptation de la réalité virtuelle par les athlètes et leurs entraîneurs après une première utilisation effective.”

Mitigation des risques

De façon surprenante, l’acceptabilité et l’acceptation de la réalité virtuelle par les sportifs n’étaient jamais évoquées comme des conditions de son efficacité. Pourtant, une technologie qui n’est pas acceptée par ses utilisateurs potentiels a de grandes chances d’être finalement peu ou pas utilisée, malgré tous ses bénéfices potentiels. L’acceptabilité et l’acceptation des technologies renvoient aux déterminants de l’intention comportementale d’utiliser une technologie avant même de l’avoir expérimentée (acceptabilité) et/ou après son utilisation effective (acceptation). Pour les étudier, le modèle théorique le plus utilisé est le Technology Acceptance Model, qui identifie les variables qui influencent l’intention d’utiliser une technologie (par ex., utilité perçue, facilité d’utilisation perçue, plaisir perçu). Le premier objectif de REVEA a donc été d’étudier l’acceptabilité du casque de réalité virtuelle par les athlètes, les boxeurs et les gymnastes (et par leurs entraîneurs) avant une première utilisation, afin d’identifier d’éventuels blocages initiaux (Mascret *et al.*, 2022). Or, une technologie peut être fortement acceptée avant utilisation et son acceptation peut s’effondrer après une première utilisation, ou inversement. Un

niveau élevé d’acceptabilité peut aussi se maintenir après utilisation de la technologie, tout comme un niveau faible. Le deuxième objectif de REVEA a donc été d’identifier le niveau d’acceptation de la réalité virtuelle par les athlètes et leurs entraîneurs après une première utilisation effective. Toutefois, la réalité virtuelle est soumise à « l’effet WOW », traduisant un effet de surprise et d’émerveillement ressenti par un individu immergé dans un nouvel environnement virtuel. Cet « effet WOW » peut influencer l’acceptation de la réalité virtuelle lors de sa première utilisation, mais il est transitoire. Le troisième objectif de REVEA a donc été d’évaluer l’acceptation de la RV par les athlètes, les boxeurs et les gymnastes (et par leurs entraîneurs) de façon longitudinale, c’est-à-dire tout au long de la période d’entraînement.

Conclusion

Le projet REVEA a permis d’intégrer la réalité virtuelle dans la préparation olympique de trois fédérations, de proposer des premières solutions et de mettre en place une nécessaire co-construction entre sportifs et scientifiques. Il doit cependant se concevoir dans une projection sur plusieurs olympiades.

Nous continuons de travailler sur des études de validation et de transfert, nous faisons aussi évoluer nos solutions avec les dernières innovations technologiques et nous ajoutons de nouvelles fonctionnalités en fonction des besoins toujours plus pertinents, spécifiques et pointus des entraîneurs.

Bibliographie

- Badau, D., Baydil, B. et Badau, A. (2018). Differences among three measures of reaction time based on hand laterality in individual sports. *Sports*, 6(2), 45. <https://doi.org/10.3390/sports6020045>
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F. et Craig, C. (2010). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Comput Graph Appl*, 30(2), 1421. <https://doi.org/10.1109/mcg.2009.134>
- Boutin, A., Fries, U., Panzer, S., Shea, C. H. et Blandin, Y. (2010). Role of action observation and action in sequence learning and coding. *Acta Psychologica*, 135(2), 240-251. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.07.005>
- Boydjjan, A. et Bootsma, R. J. (1999). Timing in relay running. *Perceptual and Motor Skills*, 88(3), 1223-1230. <https://doi.org/10.2466/pms.1999.88.3c.1223>
- Brault, S., Bideau, B., Kulpa, R. et Craig, C. M. (2012). Detecting deception in movement: the case of the side-step in rugby. *PLoS One*, 7(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037494>
- Chomienne, L., Egiziano, M., Stefanuto, L., Bossard, M., Verhulst, E., Kulpa, R., Mascret, N. et Montagne, G. (2024). Virtual reality to characterize anticipation skills of top-level 4x100 m relay athletes. *European Journal of Sport Science*, 24(10), 1463-1471. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12192>
- Creswell, J. W. et Plano Clark, V. L. (2017). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Egiziano, M., Chomienne, L., Bossard, M., Verhulst, E., Kulpa, R., Mascret, N. et Montagne, G. (2023). *How variability could shape perceptual-motor expertise in 4x100m relay?* [communication orale]. 28th Annual Congress of ECSS. Paris, juillet 2023.
- Limballe, A., Kulpa, R., Vu, A., Mavromatis, M. et Bennett, S. (2022). Virtual reality boxing: Gaze-contingent manipulation of stimulus properties using blur. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.902043>
- Mascret, N., Montagne, G., Devrièse-Sence, A., Vu, A. et Kulpa, R. (2022). Acceptance by athletes of a virtual reality head-mounted display intended to enhance sport performance. *Psychology of Sport and Exercise*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2022.102201>
- Montagne, G., Mascret, N., Bossard, M., Chomienne, L., Ledouit, S., Rao, G., Tordi, N., Verhulst, E. et Kulpa, R. (2024). An interdisciplinary framework to optimize the anticipation skills of high-level athletes using virtual reality. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1324016>
- Paintendre, A. et Froissart, T. (2023). *Le corps sensible en gymnastique. Pour une immersion du gymnaste de haut niveau dans son expérience sensible* [communication orale]. 20^e Congrès International de l'ACAPS, Reims, novembre 2023.
- Stone, J. A., Strafford, B. W., North, J. S., Toner, C. et Davids, K. (2018). Effectiveness and efficiency of virtual reality designs to enhance athlete development: an ecological dynamics perspective. *Movement & Sport Sciences / Science & Motricité* 102, 51-60, <https://doi.org/10.1051/sm/2018031>

INSEP-Éditions

Depuis 1976, l'INSEP publie des ouvrages et des revues pour diffuser les savoirs issus de la recherche et de l'expérience dans le domaine du sport de haut niveau.

Une partie des 200 titres du fonds a été numérisée et mise à disposition en accès libre :

- L'intégralité des numéros des *Cahiers de l'INSEP* (1992-2010) sur le portail Persée : <https://www.persee.fr/collection/insep>
- 17 ouvrages sur la plateforme OpenEdition Books : <https://books.openedition.org/insep/>

INSEP-Éditions met à disposition de l'ensemble des acteurs du monde du sport des supports écrits et numériques de qualité, validés par des experts qualifiés. Pour ce faire, la structure s'est dotée en 2019 d'un comité scientifique composé d'un membre de l'INSEP et de personnalités extérieures à l'établissement :

- Hélène Joncheray, chargée de l'animation du réseau de l'accompagnement scientifique de la performance au pôle Performance de l'INSEP ;
- Patrick Clastres, historien du sport, professeur à l'université de Lausanne ;
- Sophie Barré, chargée de mission innovation et accompagnement scientifique au CREPS des Pays de la Loire ;
- Boris Jidovtseff, professeur en sciences du sport à l'université de Liège ;
- Patricia Thoreux, médecin du sport, chirurgien orthopédiste et traumatologue à l'hôpital Hôtel-Dieu (APHP).

Les ouvrages d'INSEP-Éditions s'organisent autour de trois collections, chacune animée par un directeur qui en garantit la qualité scientifique et la cohérence éditoriale :

- « Savoirs Pratiques » propose des ouvrages de référence écrits par des chercheurs ou des professionnels conçus pour les acteurs de terrain sur des thématiques transversales afin d'améliorer les pratiques sportives. Cette collection est dirigée par Guillaume Martinent, maître de conférences en psychologie du sport à l'université Claude Bernard Lyon-1.
- « Savoirs Sciences » accueille les travaux de recherche et développement en cours nécessaires à la haute performance sportive tous domaines scientifiques confondus. Les ouvrages proposent des synthèses des connaissances actuelles produites au service du sport et à même de faire évoluer les pratiques, de développer les capacités de performance tout en préservant la disponibilité à l'entraînement. Cette collection est dirigée par Denis Hauw, professeur en psychologie du sport à l'université de Lausanne.
- « Savoirs d'Experts » fait dialoguer les différents acteurs de la haute performance sportive dont ceux issus de la recherche qui partagent ici leurs compétences au service de l'entraînement et des compétitions. Cette collection est dirigée par Olivier Hue, professeur en sciences du sport à l'université des Antilles.

HISTOIRE DE L'ENTRAÎNEMENT SPORTIF

Pratiques et discours techniques en France (XIX^e-XXI^e siècles)



De l'athlétisme au football, en passant par le rugby, l'escrime, et jusqu'au surf ou à l'esport, l'histoire de l'entraînement sportif en France témoigne d'une extraordinaire variété de pratiques, de discours et de jeux d'influence : affirmation d'une « école française » ou inspirations puisées aux quatre coins du monde, tensions entre pratiques professionnelles et sport amateur, oppositions entre acteurs de terrain, chercheurs, et médecins... Les exemples ne manquent pas pour illustrer l'ampleur de cette histoire au long cours.

En s'appuyant sur un collectif de spécialistes issus des sciences du sport et des sciences humaines et sociales, cet ouvrage répond à un défi ambitieux et propose une entrée aussi inédite qu'exhaustive dans l'histoire de l'entraînement sportif en France.

Il invite à découvrir les particularités d'une vingtaine de disciplines sportives, avant d'ouvrir sur les enjeux qui les traversent toutes. Riche de son érudition, il est une somme indispensable pour plonger dans cette histoire méconnue qui satisfera universitaires, dirigeants et entraîneurs du sport français.

À paraître en 2025

Franck Brocherie, Anthony Couderc (dir.)
L'ABC de la préparation au rugby à 7
 Collection Savoirs d'Experts.

Olivier Hue (dir.)
Pratiques et stratégies d'optimisation de la performance sportive en environnement tropical
 Collection Savoirs d'Experts.

Christian Gaubert
Tennis de table
 Collection Savoirs Pratiques.

Contact :
editions@insep.fr

Pour passer commande :
www.lcdpu.fr
 mail : cid@msh-paris.fr

Vente en librairie

Autres parutions

Gagner avec les données

Comment les mettre au service du sport de haut niveau

Capteurs GPS, textiles connectés, microprélèvements, suivis médicaux... Depuis des années, les données inondent le sport de haut niveau, mais leur statut fait débat. À rebours de deux attitudes opposées, qui consistent à s'en défier totalement ou à leur faire aveuglément confiance, cet ouvrage dispense des conseils pratiques, expertises à la clé, pour que leur utilisation soit mise au service de la performance.

Sous la direction d'Adrien Sedeaud
Préface de Florian Rousseau
Éditeur : INSEP-Éditions
Collection : Savoirs Sciences
Date de parution : juin 2024
ISBN : 978-2-86580-267-8 – Nombre de pages : 232 p.
Prix : 24 €

Skateboard

De la rue aux Jeux olympiques

À la croisée de la culture urbaine, de l'expression artistique et du sport, le skateboard est désormais une discipline olympique. Mais quels sont les effets de cette « olympisation » sur la pratique, ses acteurs et sur les Jeux ? Les points de vue de philosophes, sociologues, ethnologues et de scientifiques du mouvement, consignés dans cet ouvrage collectif, permettent de saisir la complexité des réalités du skateboard aujourd'hui.

Sous la direction de Charly Machemehl
Éditeur : INSEP-Éditions
Hors collection
Date de parution : janvier 2024
ISBN : 978-2-86580-266-1 – Nombre de pages : 166 p.
Prix : 22 €

Individualisation de l'entraînement

Réflexions et exemples dans le sport de haut niveau

Dans cet ouvrage novateur, Claude Colombo et Adrien Sedeaud ont choisi d'explorer le sujet complexe de l'individualisation. Ils se sont pour cela entourés de nombreux experts afin d'aider l'athlète à se construire dans le respect de son individualité et de sa différence pour l'amener à son meilleur niveau.

Sous la direction de Claude Colombo et Adrien Sedeaud
Préface de Tony Estanguet
Éditeur : INSEP-Éditions
Collection : Savoirs Sciences
Date de parution : novembre 2022
ISBN : 978-2-86580-257-9
Nombre de pages : 384 p.
Prix : 35 €

La prophylaxie en sport de haut niveau

Expériences de terrain

L'ouvrage présente de nombreux outils pratiques destinés à l'accompagnement de tous les acteurs sportifs, qu'ils soient entraîneurs, éducateurs, préparateurs physiques, kinésithérapeutes ou athlètes.

Auteurs : Anne-Laure MORIGNY et Christophe KELLER
Éditeur : INSEP-Éditions
Collection : Savoirs d'Experts (Le Laboratoire d'idées)
Date de parution : juillet 2019
ISBN : 978-2-86580-237-1 – Nombre de pages : 208 p.
Prix : 19 €

Sports à haute intensité

Mieux comprendre la performance pour mieux l'entraîner

Appuyé d'exemples de séances et cycles d'entraînement, cet ouvrage est un guide pour comprendre les mécanismes de production d'énergie à haute intensité...

Sous la direction de Christine HANON
Avec la collaboration de Claire THOMAS-JUNIUS et Caroline GIROUX
Préface de Stéphane Diagna
Éditeur : INSEP-Éditions
Collection : Savoirs Sciences
Date de parution : mars 2019
ISBN : 978-2-86580-238-8 – Nombre de pages : 384 p.
Prix : 35 €

Préparation physique : développer l'intelligence de l'épaule

Entre fixation, mobilité et proprioception

L'épaule est l'articulation la plus mobile du corps humain, mais aussi la plus instable. La pratique du sport et les contraintes spécifiques associées augmentent de manière importante sa sollicitation...

Auteur : Cyril VIEU
Éditeur : INSEP-Éditions
Collection : Savoirs d'Experts (Le Laboratoire d'idées)
Date de parution : février 2018
ISBN : 978-2-86580-235-7 – Nombre de pages : 136 p.
Prix : 19 €

La machine humaine : évaluation et prévention

Tests fonctionnels sans matériel

Au travers des différents tests illustrés, le lecteur pourra s'évaluer et verra apparaître des « insuffisances » potentielles. Celles-ci pourront alors servir d'axes de travail afin de guider la pratique des athlètes.

Auteurs : Mathieu CHIRAC, Norbert KRANTZ et Geoffrey MEMAIN
Éditeur : INSEP-Éditions
Collection : Savoirs d'Experts (Le Laboratoire d'idées)
Date de parution : janvier 2018
ISBN : 978-2-86580-236-4 – Nombre de pages : 136 p.
Prix : 19 €

Et d'autres ouvrages, à retrouver sur :

www.lcdpu.fr

Les anciens numéros sont toujours disponibles [sur le site de l'INSEP](#).





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

11, avenue du Tremblay - 75012 PARIS
Tél. : 01 41 74 41 00

www.insep.fr



TOYOTA

VISA

PARTENAIRES MÉDIAS

france•tv

Le Parisien