

saison ou de la carrière du sportif. Ainsi, deux études ayant pour objet d'identifier les caractéristiques et les dynamiques de parcours de sportifs ayant eu une longue carrière au plus haut niveau (Debois et al. 2012) ont mis en évidence trois transitions typiques décrites de manière récurrente comme ayant eu une incidence forte sur la dynamique du parcours : (1) les résultats sportifs majeurs, (2) l'entrée en structure de haut niveau et, (3) la blessure. Les résultats sportifs majeurs renvoient à la question de l'adaptation du sportif aux changements de statut (e.g. d'outsider à leader) et aux nouveaux enjeux (e.g. maintenir sa position de leader) que ces résultats induisent. L'entrée en structure de haut niveau apparaît quant à elle comme une transition décisive mais difficile. Le rapport des éléments incitatifs versus dissuasifs entrant dans la décision d'intégrer la structure apparaît comme un élément clef de la qualité d'adaptation en pôle. Développer un outil permettant de mieux identifier ces éléments accompagnant la décision d'entrée en pôle pourrait permettre de faciliter l'identification des sportifs à risque, à des fins de prévention et de meilleur suivi lors de la phase d'adaptation. Dans cette optique d'optimisation des performances, les entraîneurs organisent par exemple les temps des sportifs au cours de la saison (Macquet, 2010). Il a ainsi été montré que les entraîneurs utilisaient des stratégies basées sur : (i) la prise en compte d'un ensemble de contraintes, (ii) l'utilisation de routines basées sur leur expérience, (iii) l'utilisation de plans flexibles et (iv) des discussions avec les sportifs et d'autres entraîneurs. L'objectif ici est de comprendre et d'expliquer les stratégies décisionnelles utilisées par les sportifs de haut niveau pour gérer leur temps pour être performant dans des conditions variables de stress et de fatigue. L'objectif est également d'expliquer comment, quand et pourquoi ces stratégies sont utilisées au cours de la journée, de la semaine, de la saison et de l'olympiade et d'évaluer leur efficacité dans les situations dans lesquelles elles ont été utilisées. Nos travaux ont par exemple montré que le niveau d'expertise des sportifs influence les stratégies de gestion de temps lorsqu'ils identifient des conflits entre les temps imposés par l'institut et le temps requis pour réaliser les activités (Macquet et Skalej, 2015). Les novices utilisent davantage des stratégies centrées sur les émotions, tandis que les sportifs expérimentés recourent plus fréquemment à des stratégies centrées sur le problème à résoudre. Afin de développer la capacité des sportifs à faire face à cet environnement contraint, l'optimisation des relations avec l'entraîneur, notamment lors d'entretiens de briefing ou de débriefing en amont ou en aval des compétitions ou des entraînements constitue un levier intéressant encore peu exploré à ce jour. Peu d'études se sont centrées sur la conduite d'entretiens de briefing et de débriefing en sport, malgré l'intérêt unanimement reconnu de ces séquences (Macquet et al. 2015), qui favorisent l'apprentissage, la motivation, la confiance en soi, en l'entraîneur et en les partenaires, ou encore la récupération mentale et émotionnelle (Hogg, 2002 ; McArle et al. 2010). Il s'agit ici d'aider l'entraîneur et le sportif à mettre en place une forme d'apprentissage explicite (Macquet & Kragba, 2015). Le but de ces entraînements sera d'améliorer la production motrice de gestes sportifs mais également d'optimiser le retour de blessure chez le sportif de haut niveau.

A l'échelle de l'individu, la manière dont les sportifs gèrent leur stress a des répercussions aux niveaux personnel et collectif (Lazarus, 2000). Afin de mieux comprendre les processus d'adaptation au stress, il s'avère nécessaire de distinguer les approches intrapersonnelles des approches interpersonnelles du stress et du coping (Tamminen & Gaudreau, 2014). D'une part, les approches intrapersonnelles sont centrées essentiellement sur les sources de stress, les émotions, les stratégies de coping et leurs conséquences au niveau individuel (e.g. performance individuelle). D'autre part, les approches interpersonnelles se focalisent sur la manière dont les sources de stress et les stratégies de coping sont influencées par autrui, et comment les manifestations émotionnelles et comportementales influencent en retour autrui. Une perspective interpersonnelle prend également en compte la manière dont les sportifs font face aux situations stressantes en tant qu'équipe (i.e. coping collectif). Le coping dans l'équipe renvoie à la manière dont chaque individu au sein de l'équipe fait face et comment cela influence les autres individus et/ou a des conséquences au niveau du groupe (e.g. performance, cohésion). Le coping de l'équipe renvoie aux perceptions et actions collectives des sportifs pour faire face. Par conséquent, il semble important d'étendre et de développer les modèles théoriques existants sur le stress et le coping en prenant en compte ces deux niveaux d'analyse : intra- et inter-personnel. Il apparaît en effet nécessaire de mieux comprendre :

- ▶ Comment les sportifs interagissent au sein de l'environnement social de l'équipe et dans quelle mesure les processus de stress et de coping sont partagés dans les situations de performance, en sport collectif notamment ?

La complémentarité des approches intra- et interpersonnelles offre ainsi des perspectives prometteuses d'étude de la gestion du stress au niveau psychologique en sport (individuel et collectif ; Doron et Bourbousson, 2016). Un travail sur le coping collectif vient d'être initié dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche² (Leprince et al, soumis). La finalité de ces travaux consiste au développement et à l'entraînement des capacités de gestion du stress (individuelles et collectives) qui peuvent être envisagés au niveau psychologique en vue de favoriser l'adaptation aux contraintes et exigences du sport de haut niveau. Les interventions basées sur la pleine conscience apparaissent aujourd'hui comme une approche holistique et prometteuse pour favoriser le développement de ces ressources psychologiques fondamentales pour la performance (Birrer et al. 2012 ; Röthlin et al. 2016). Récemment, les interventions basées sur la pleine conscience ont été reconsidérés par des chercheurs de notre équipe pour intégrer l'apprentissage de la pleine conscience directement aux séances quotidiennes d'entraînement des sportifs de haut-niveau en badminton (Doron et al. 2017) et en basketball (Goisbault & Doron, 2017). Ces programmes ont été spécifiquement élaborés en tenant compte à la fois des besoins spécifiques des sportifs et des exigences et sollicitations particulières du type de sport pratiqué à haut niveau. La pratique intégrée de la pleine conscience favorise ainsi le développement des capacités de régulation de l'attention, des capacités de coping, et des habiletés interpersonnelles dans le cadre de l'entraînement et en compétition. L'objectif est d'aller plus loin dans la compréhension des mécanismes sous-tendant l'efficacité de tels programmes et une meilleure adaptation, individuelle et collective, au stress.

Lorsqu'elles se prolongent, ces situations de stress peuvent affecter les capacités du sportif en altérant notamment le processus de prise de décision. Cette prise de décision est étroitement dépendante de la prise d'informations visuelles issues du milieu extérieur et notamment de l'environnement humain au sein duquel il évolue. Lors de cette prise d'informations qui doit être extrêmement rapide, l'individu doit être également en mesure de distinguer les informations pertinentes au regard de l'action à effectuer, de celles qui ne le sont pas, cette faculté conditionnant la réussite de l'action. Dans le sport de haut niveau, l'incapacité de certains sportifs de percevoir des informations transitoires très brèves est devenue une préoccupation majeure pour les entraîneurs dans le sens où leur non-discernement pourrait entraîner la réalisation de performances médiocres. En se référant (i) aux travaux scientifiques portant sur la perception consciente/inconsciente, (ii) à la taxonomie de Dehaene et al. (2006) reposant sur le modèle théorique de l'espace global de travail (Baars, 1997), et aux dires des sportifs rapportant verbalement la perception ou non d'une information brève, il est possible de distinguer la manière dont est perçue l'information visuelle (consciemment, inconsciemment, non-perçue). Dans ce contexte, les sportifs de haut niveau sont souvent confrontés à des actions extrêmement rapides qui réduisent le temps disponible pour capter l'information, l'analyser et effectuer l'action qu'ils estiment adaptée à la situation. Il apparaît dès lors essentiel d'analyser les mécanismes de perception et de compréhension des situations et les ressources utilisées par le sportif dans ces environnements incertains et aléatoires. Notre programme de recherche visera ainsi à répondre aux questions suivantes :

- ▶ **Comment le sportif, soumis à de fortes contraintes temporelles, traite les informations visuelles environnementales ? Les traite-t-il consciemment ou inconsciemment et quelles sont les répercussions de ces traitements sur la production subséquente de la performance ?**

Nos travaux viseront ainsi à mieux comprendre les processus de perception visuelle, de représentation et de commande motrice, analysés selon une approche issue des neurosciences cognitives (Berthoz, 1997 ; Prinz, 1997 ; Schutz-Bosbach & Prinz, 2007). L'obtention d'un financement du Ministère en charge des Sports en 2016 et d'un contrat doctoral de l'Ecole Normale Supérieure³ permettra d'apporter un éclairage sur les mécanismes impliqués lors de ces opérations mentales, et d'examiner les facteurs pouvant les impacter tels que l'expertise motrice, l'expertise visuelle, ou encore la déprivation sensorielle. Dans un second temps, les résultats de ces travaux permettront le développement d'une méthode d'évaluation et de quantification de la perception visuelle chez le

² Thèse de doctorat de Chloé Leprince (Université Paris 5 René Descartes) intitulée « Gestion individuelle et collective du stress en compétition : l'exemple du football », sous la direction du Dr. Claire Calmels, du Dr. Julie Doron et du Pr. Fabienne D'Arripe-Longueville. Financement CIFRE, en collaboration avec la Fédération Française de Football.

³ Thèse de doctorat de Mildred Taupin (Université Paris 5 René Descartes), intitulée « Perception visuelle inconsciente chez le sportif de haut niveau », sous la direction du Dr. Claire Calmels. Contrat doctoral obtenu au concours 2017 de l'Ecole Normale Supérieure de Rennes.

sportif sain et blessé et la mise en place de programmes d'entraînement visant à améliorer leurs capacités visuelles conscientes et inconscientes. Pour développer la capacité des sportifs à s'adapter à un environnement présentant une pression temporelle et une incertitude élevée, il s'avère également intéressant d'étudier et de modéliser le processus de prise de décision, pour mieux comprendre les leviers décisionnels et les mécanismes sous-jacents (Macquet, 2009; 2016 ; Macquet & Pellegrin, 2017). Dans le même ordre d'idées, la connaissance des mécanismes de la simulation motrice, de la perception visuelle (Calmels et al. 2014) et des corrélats neuronaux de l'expertise motrice (Calmels, en expertise) permettront, dans un futur proche, la mise en place de protocoles d'entraînements innovants se basant sur l'utilisation d'interfaces cerveau-machine.

Si le stress représente une contrainte pour le sportif, il représente aussi un stimulus qui, lorsqu'il est modulé à bon escient, permet d'induire les adaptations propices à l'augmentation des performances (Foster et al. 1975). La « dose » et la nature de ce stress peuvent alors être définies à travers les caractéristiques des procédés d'entraînement utilisés (intensité de l'exercice, volume, récupération) ou des conditions environnementales dans lesquelles sont placés les sportifs (altitude, température, humidité). Ces choix de préparation physique sont classiquement opérés de manière à améliorer les capacités requises dans l'activité considérée, selon le principe de spécificité de l'entraînement. Dans cette perspective, l'utilisation de conditions environnementales stressantes telle que la chaleur (Schmit et al. 2017) ou l'hypoxie (Taylor et al. 2016 ; McMorris et al. 2017) peut contribuer à exacerber le bon fonctionnement cognitif et affecter la performance. Depuis son apparition après les Jeux Olympiques de Mexico 1968, l'exposition à l'altitude/hypoxie fait ainsi partie intégrante de la préparation moderne des sports d'endurance et intermittents. Ces techniques ont connu un essor auquel notre équipe a participé ces dernières années, avec l'apparition de nouvelles méthodes telles que l'entraînement (i) de répétition de sprint en hypoxie, (ii) de force en hypoxie ou encore la combinaison des méthodes telles que vivre en altitude, s'entraîner au niveau de la mer et en altitude (Brocherie et al. 2015, 2017; Girard et al. 2017). La combinaison des stress environnementaux, *i.e.* chaleur et hypoxie (Buchheit et al. 2013) est également un champ d'investigation qui mérite une attention particulière, puisqu'il serait susceptible d'induire des adaptations transférables à une autre condition environnementale (Gibson et al. 2017). Cependant, l'entraînement de nombreux sports basés sur le développement de qualités physiques variées (force, endurance, vitesse, endurance de vitesse) est constitué de cycles visant à développer des qualités jugées parfois peu compatibles. Dans ce contexte, des méthodes spécifiques d'entraînement optimal en conditions environnementales particulières (*e.g.* ambiance chaude) restent à déterminer à la fois dans les sports d'endurance et de vitesse. La littérature récente a permis de mieux décrire les dimensions cardio-respiratoire et musculaire des interférences entre les différents types d'entraînement (Babcock et al. 2012). Pour autant, les mécanismes cellulaires, moléculaires et géniques sous-jacents restent à explorer. Ce manque d'informations est particulièrement préjudiciable à la préparation des sportifs car la contribution relative des dimensions métabolique et musculaire de la performance conditionnera la stratégie des entraîneurs à proposer une programmation d'entraînement qui soit à la fois adaptée aux spécificités de la compétition préparée et aux contraintes physiologiques des sportifs concernés. Dans la perspective des Jeux Olympiques de Rio 2016, une étude a été menée pour tester l'efficacité de protocoles d'acclimatation à la chaleur sur la performance en endurance dans des conditions chaudes ou tempérée (Schmit et al. 2017). Notre groupe a également contribué de manière significative à la compréhension des effets de l'entraînement en altitude sur les adaptations physiologiques, en particulier celles induites par la répétition de sprints en hypoxie (Brocherie et al. 2017). Dans cette démarche, notre équipe s'intéresse à ces réponses, depuis les capacités cardio-respiratoires de l'individu jusqu'aux capacités oxydatives de la cellule musculaire. Le laboratoire SEP a ainsi développé différentes études en partenariat avec la Fédération Française de Rugby destinées à mieux appréhender le stress de compétition induit par le format d'une nouvelle épreuve (Rugby à 7), inscrite pour la première fois au programme des derniers Jeux Olympiques de Rio. Nos travaux récents ont également eu pour objet d'appréhender les effets du statut acido-basique sur les réponses et les adaptations de séances d'entraînement réalisées à des puissances supra maximales et menées jusqu'à épuisement. Ces travaux nous permettent de mieux comprendre les facteurs limitants de la performance et les mécanismes cellulaire, moléculaire et génique sous-jacents, en étudiant les réponses du système aérobie telle que la respiration mitochondriale (Delfour-Peyrethon et al. en révision). Dans la continuité de ces travaux, nous nous intéresserons à mieux comprendre :

- Quels sont les effets des conditions environnementales et des contraintes inhérentes à l'activité sur les réponses métaboliques, énergétiques et musculaires afin de mieux manipuler ces variables à l'entraînement ?

Nos projets doivent permettre de caractériser la contribution des voies métaboliques aérobie et anaérobie dans des disciplines mixtes qui induisent une forte acidose (cyclisme sur piste, sprint long, demi-fond court, aviron). Les résultats de ces travaux permettront de mieux cibler les contenus d'entraînement proposés. Nous avons également pour objectif de poursuivre nos travaux sur les effets physiologiques des exercices chroniques de haute intensité (Daussin et al. 2008; Maciejewski et al. 2016; Thomas et al. 2007) et des conséquences de l'acidose métabolique qui y sont associées. Nous appréhenderons ainsi les effets de l'accumulation de protons sur les adaptations du contenu en protéines nécessaires à la biogenèse mitochondriale, ainsi que sur les adaptations au niveau des fonctions mitochondriales dans les disciplines à haute intensité. De plus, à partir de la détermination de biomarqueurs (microARN) connus pour refléter les adaptations au niveau mitochondrial (McCormick et al. 2017), nous appréhenderons, de manière complémentaire, leur implication dans les mécanismes adaptatifs au niveau mitochondrial en réponse à l'entraînement de haute intensité et leur régulation physiologique par l'acidose métabolique. Ces techniques seront mobilisées pour investiguer les effets d'un entraînement de répétition de sprints dans différentes conditions environnementales (chaleur, hypoxie). Ces questions font l'objet d'un projet de thèse avec l'Institut des Sciences du Sport de l'Université de Lausanne (Suisse), de collaborations à venir avec l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées et d'un projet international impliquant l'Institut des Sciences du Sport de l'Université de Lausanne (Suisse) et l'Université d'Innsbruck (Autriche)⁴. Des pistes de réflexions transversales sont actuellement à l'étude en ce qui concerne l'intérêt de ces conditions environnementales particulières sur la prise de décision ou sur l'optimisation des adaptations induites par des stratégies nutritionnelles (collaborations internes entre les équipes du thème 1 et du thème transversal).

L'ensemble de ces travaux visant à optimiser les adaptations au stress doivent in fine se traduire sur l'efficacité du geste sportif, qui dépend de ses caractéristiques mécaniques, que ce soit pour répondre à des critères de qualité artistique, technique, de précision, de vitesse ou de force. L'étude des propriétés mécaniques des tissus musculaire et tendineux apparaît dès lors comme une porte d'entrée naturelle de l'optimisation de la performance. Dans ce domaine, le développement de l'échographie à la fin des années 1990 a révolutionné la compréhension des interactions muscle-tendon *in vivo* chez l'homme. Ces interactions ont été décrites lors de diverses tâches, des plus simples (isométriques, Ito et al. 1998) jusqu'aux plus complexes (marche et course à pied, Ishikawa et al. 2007). Notre laboratoire (en collaboration l'Université de Nantes) a participé à cet apport de connaissances, par exemple lors de mouvements de type catapulte (Farcy et al. 2014), concentriques (Hauraix et al. 2015, 2017) ou excentriques (Guilhem et al. 2016). L'ensemble de ces études a confirmé chez l'homme ce que les études chez l'animal avaient précédemment montré : la contribution essentielle des structures tendineuses dans le mouvement. Cette contribution a trois intérêts majeurs. Premièrement, elle participe à réduire les modifications de longueur et de vitesse des faisceaux musculaires pendant les mouvements dynamiques de sorte que ces derniers se maintiennent dans des secteurs optimaux de leurs relations force-vitesse et force-longueur respectives (Ishikawa et al. 2007). Deuxièmement, lors de mouvements de type étirement-détente, elle participe au phénomène de stockage-restitution d'énergie élastique, connu pour être économique d'un point de vue énergétique (Komi et al. 2000). Enfin, elle permet un effet protecteur des structures musculaires dans les phases d'étirement. Suite aux travaux de Griffiths (1991), une série d'études animales a caractérisé les interactions muscle-tendon et a montré comment les propriétés du tendon influençaient l'énergie dissipée par les muscles (Roberts et Azizi, 2010). Le tendon agit ainsi comme un absorbeur de choc pour limiter l'amplitude et la vitesse d'allongement des faisceaux musculaires afin de les protéger efficacement des dommages consécutifs associés à un allongement rapide (Konow et Roberts, 2015). Or, chez l'homme, le rôle du tendon dans les tâches excentriques intensives et pluri-articulaires, comme la réception au sol, reste mal compris. Ainsi, si la plupart des mouvements sont bien décrits, plusieurs secteurs de recherche restent à explorer notamment en

⁴ Projet de Recherche (Post-doctorat à l'Université de Innsbruck), intitulé « *Repeated sprint training in hypoxia: a systematic analysis* », sous la direction du Dr. Hannes Gatterer, Pr. Wolfgang Schobersberger, Pr. Martin Burtscher, Pr. Grégoire P Millet, et Dr. Franck Brocherie. Contrat de recherche soumis au concours 2017 de la *Austrian Science Fund* (FWF). Subvention sollicitée : 350 k€.

ce qui concerne l'efficacité du geste sportif et son optimisation. Aussi nos travaux ambitionnent de répondre à la question suivante :

- ▶ Quelle est la nature des interactions muscle-tendon impliquées dans le geste sportif et quel est leur rôle dans l'efficacité mécanique de la performance réalisée en situation écologique ?

En nous appuyant notamment sur la technologie échographique à haute-fréquence qui permet l'analyse de mouvements très rapides, nous projetons donc i) de poursuivre l'analyse des descriptions de gestes spécifiques, par exemple lors de sauts verticaux (chargés et déchargés) ou lors de tâches sportives spécifiques comme le départ en sprint afin de compléter notre compréhension des interactions muscle-tendon ; ii) d'explorer les mouvements d'amortissement afin d'analyser l'effet protecteur des tissus tendineux sur les structures musculaires, pas ou peu étudiées *in vivo* chez l'homme⁵. Nous souhaitons également mieux appréhender les mécanismes favorisant l'optimisation de la performance sportive jusqu'à son plus haut niveau d'expertise. Deux approches principales sont envisagées. La première fait suite aux projets que notre équipe a mené en collaboration avec les universités de Nantes, Nanterre, Nice et Savoie, relatives à la caractérisation de la mécanique du sprint chez les athlètes élités (Rabita et al. 2015 ; Morin et al. 2015 ; Samozino et al. 2016 ; Slawinski et al. 2017). Les profils force-vitesse ont été explorés dans diverses tâches multi-articulaires (Rahmani et al. 2001; Samozino et al. 2010). Caractériser ces profils lors d'activités sportives spécifiques permet d'évaluer la capacité du système neuromusculaire à générer une puissance maximale dans cette activité. Si nous avons pour la première fois caractérisé ces profils dans des conditions écologiques de sprint et permis d'associer une vitesse à une puissance spécifique chez des athlètes élités (Rabita et al. 2015), des questions restent en suspens. Peut-on, à l'instar de ce qui a été réalisé dans le cyclisme (Dorel et al. 2010), s'appuyer sur ces profils pour optimiser les méthodes d'entraînement ? Nous envisageons donc de poursuivre dans cette thématique à l'aide d'outils de plus en plus utilisés dans le monde de l'entraînement : les machines motorisées de résistance, version technologique des charriots lestés. Imposer une vitesse maximale par l'intermédiaire d'une résistance finement calibrée reviendrait à imposer une puissance. L'objectif de ce projet est le suivant : en modélisant les relations entre la résistance imposée et les vitesses atteintes lors du sprint, nous pourrions déterminer quelle puissance développe l'athlète et quelle zone du sprint (en terme de distance) peut être entraînée. La seconde approche consiste à évaluer le geste sportif en mesurant les variables cinématiques et cinétiques du mouvement afin de mettre en évidence l'expression périphérique de l'activité motrice, notamment en vue d'optimiser de la technique gestuelle du sportif. Basé sur une première phase de travaux ayant eu pour but de valider une technique de navigation inertielle (Dinu et al. 2016), des applications d'analyse du mouvement dans un cadre d'entraînement ou de compétition sportive simulée sont aujourd'hui possibles. Faisant suite à des travaux de recherche récents sur le basketball (Slawinski et al. 2017), des études concernant d'autres sports sont en cours (e.g. élaboration d'un modèle général de comportement du boxeur). Ces études visent à élaborer de la spécificité comportementale du geste à l'aide d'une modélisation de l'organisation segmentaire propre au sportif en situation via un modèle anthropométrique individualisé.

Mots clés : rythmes de vie ; coping ; simulation motrice ; prise de décision ; interactions muscle-tendon ; analyse du mouvement.

Références : Burlot et al. Int Rev Sociol Sport. 2016;[Epub Ahead of Print] ; Brocherie et al. Sports Med. Sports Med. 2017 ;47(8):1651-1660. Doron et al. Scand J Med Sci Sports. 2017 ;27(9):1015-1025 ; Calmels C. Neurophysiol Clin. 2014;44(5):433-45. 109 ; Hauraix et al. J Appl Physiol. 2015;119(11):1262-1271 ; Rabita G et al. Scand J Med Sci Sports. 2015;25(5):583-594.

⁵ Partenariat avec la société Natural Grass (254 k€), concepteur de surfaces sportives engazonnées, dans le cadre de la thèse de doctorat d'Enzo Hollville (Université Paris 5 René Descartes), intitulée « Impact du type de surface sur la réponse à l'exercice : du muscle au mouvement », sous la direction du Dr. Giuseppe Rabita, du Dr. Antoine Nordez et du Dr. Gaël Guilhem. Convention Industrielle de Formation par la Recherche en collaboration avec la société Natural Grass.