

## PROGRAMME SCIENTIFIQUE

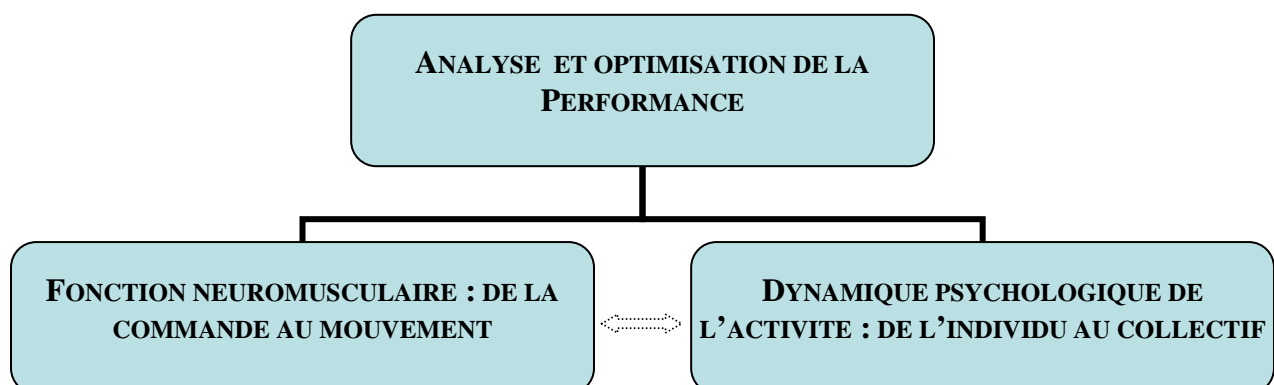
### ANALYSE ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE

#### Introduction

Le programme scientifique du Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance » vise l'analyse et l'optimisation de la performance motrice. Ce faisant, il place plus précisément au centre de son questionnement la caractérisation et la compréhension de différents processus (physiologiques, et/ou biomécaniques, et/ou psychologiques) responsables des variations et du développement de la performance, et qui sont fondamentalement liés à la plasticité adaptative humaine. Une meilleure connaissance de cette plasticité et des conditions de son exploitation dans diverses situations sportives, éducatives ou thérapeutiques, constitue un enjeu de première importance pour la communauté des sciences du sport et de l'activité physique, mais également pour celles des disciplines représentées au sein du laboratoire.

Les deux axes thématiques qui structurent ce programme visent à aborder cette question d'un point de vue pluridisciplinaire, et à des niveaux d'analyse complémentaires, afin de répondre aux défis inhérents à une analyse de la performance motrice humaine comme système complexe. Le premier axe concerne les adaptations de la fonction neuromusculaire aux contraintes de diverses tâches motrices, d'une part au niveau des coordinations musculaires, et d'autre part, au niveau des propriétés mécaniques du système musculo-squelettique. Le deuxième axe concerne la dynamique des adaptations psychologiques humaines dans diverses situations, d'une part au niveau de l'activité individuelle, et d'autre part, au niveau de l'activité collective. Ces deux axes s'organisent autour de questions scientifiques originales actuelles, mais ils ouvrent également sur des enjeux de conception (ingénierie des situations d'entraînement, d'enseignement ou de réhabilitation) essentiels dans les différents domaines d'intervention du champ des activités physiques et sportives.

Cette double orientation, scientifique et pratique est de nature à favoriser le dialogue avec les acteurs du mouvement sportif, mais aussi éducatif ou celui de la santé. Elle doit permettre plus généralement au laboratoire de contribuer à répondre à certains des défis sociétaux actuels.



## Axe 1 - Fonction neuromusculaire : de la commande au mouvement

L'axe de recherche intitulé « *Fonction neuromusculaire : de la commande au mouvement* » concerne l'étude de la motricité humaine et de ses adaptations à travers l'analyse de paramètres physiologiques et biomécaniques. Les adaptations de la fonction neuromusculaire et du système musculo-articulaire sont étudiées dans différents contextes d'exercices physiques tels que la performance, l'entraînement, le réentraînement (réadaptation à l'effort), la rééducation, et chez différents publics (sportifs, sédentaires, déficients moteurs).

Son originalité tient à ce qu'il s'intéresse aux événements qui, à partir de la commande nerveuse, aboutissent à la contraction musculaire à l'origine du mouvement. Deux niveaux d'analyse permettent ainsi d'explorer le comportement des systèmes neuromusculaire et musculo-articulaire et leur plasticité :

- l'étude de la commande nerveuse et des contractions musculaires associées à l'émergence de *coordinations musculaires* ;
- l'étude de la contraction musculaire à l'origine de la production de force génératrice du mouvement et résultant des *propriétés mécaniques du muscle et du tendon*.

### *De la commande à l'activité musculaire*

Ce niveau d'analyse vise à explorer les sollicitations de la fonction neuromusculaire propres à la réalisation d'un geste sportif ou d'une action motrice. Il s'agit d'étudier les *coordinations musculaires* et ainsi les mécanismes de commande nerveuse permettant de mobiliser l'effecteur musculaire. La *fatigue neuromusculaire* détermine la performance dans de nombreuses pratiques sportives, comme dans certaines activités professionnelles ou situations de la vie courante. Les conditions de son expression, les mécanismes physiologiques et biomécaniques à l'origine de son apparition, comme ceux qui tendent à la compenser ou à repousser son moment d'apparition sont analysés. Nos investigations prennent en considération des facteurs d'influence tels que l'expertise, l'ergonomie du matériel utilisé, ou encore l'entraînement.

Notre approche neurophysiologique de ces phénomènes s'appuie sur l'utilisation de méthodologies et d'outils d'activation ou de mesure de l'activité électrique nerveuse et musculaire.

- Le recueil, le traitement et l'analyse de signaux électromyographique (EMG) de surface permettent l'exploration d'une part de l'activité musculaire dans un contexte *in vivo*. Le laboratoire est équipé de **chaînes d'acquisition EMG fixe et portable** (16 voies ; Delsys, Boston, USA) permettant l'enregistrement de l'activité EMG en laboratoire et en conditions réelles de pratique. Le laboratoire possède un **amplificateur multicanaux** (EMG-128, LISiN – OT Bioelettronica, Torino, Italie) équipé de matrices (64 voies) ou de vecteurs d'électrodes. Ainsi, il est possible d'obtenir une cartographie de l'activité EMG à la surface du muscle et, par un traitement mathématique, il peut être envisagé de recueillir des potentiels d'action d'unités motrices et d'accéder à une information jusque là accessible de manière invasive.
- L'activation électrique nerveuse ou musculaire de manière contrôlée et standardisée peut s'opérer par utilisation d'un **stimulateur électrique**. Le laboratoire dispose de ce matériel (Digitimer DS7A, Digitimer Ltd, UK) utilisé notamment pour évaluer les facteurs périphériques (i.e., secousse musculaire, onde M, etc.) et centraux (i.e., niveau d'activation volontaire) de la fatigue neuromusculaire.

Les travaux menés dans le laboratoire ont permis de montrer la variabilité (inter et/ou intra-individuelle) de la mobilisation de patrons d'activité musculaire pour la réalisation de gestes sportifs (e.g., cyclisme, voile) en lien avec l'expertise et la fatigue musculaire (e.g., Boyas et al., 2009 ; Hug et al., 2004, 2008 ; Maïsetti et al., 2006). La motricité implique un grand nombre de degrés de liberté (DDL), « assemblés » en synergies musculaires par le système nerveux central en vue de contrôler le système musculo-squelettique. Dans ce cadre théorique, nous utilisons une approche statistique afin de modéliser les synergies musculaires caractéristiques (e.g., analyse en composantes principales, analyse en composantes indépendantes ou factorisation matricielle non négative). Les travaux menés portent

particulièrement sur des pratiques sportives soutenues en région des Pays de la Loire telles que l'aviron, le cyclisme (Hug et al., 2009) ou la voile (Maisetti et al., 2006). Le contrat de recherche OPERF2A<sup>1</sup> en cours vise à caractériser les synergies musculaires des rameurs de haut niveau comparées à celles des novices, et l'influence de la fatigue neuromusculaire sur ces coordinations. Il a été démontré au cours d'un exercice isométrique fatigant une activation non homogène du muscle. Notre approche des coordinations musculaires prendra ce niveau de complexité musculaire en considération afin notamment de mieux cerner la variabilité des synergies musculaires mises en œuvre lorsqu'une fatigue neuromusculaire s'installe. Complémentaire au problème de la complexité musculaire, la question de la coordination et de la régulation des mouvements (i.e., compréhension des processus d'assemblage des DDL moteurs et perceptifs) est également traitée par l'exploration du rôle de contraintes neuromusculaires (résistance, charge et/ou fatigue) sur le contrôle volontaire des coordinations sensorimotrices et la demande attentionnelle associée (Murian & Deschamps, 2007 ; Murian et al., 2008a, 2008b).

Nous avons décrit la localisation musculaire et l'origine de la fatigue neuromusculaire qui affecte l'efficacité de gestes techniques et agit comme un facteur limitant de la performance. Ces analyses ont été menées sur des tâches professionnelles (e.g., vissage à la chaîne<sup>2</sup>) et le sont sur des activités quotidiennes telles que la marche perturbée dans le cadre d'une collaboration internationale<sup>3</sup> engageant une co-tutelle de thèse<sup>4</sup>. Nous nous sommes intéressés à déterminer des indices objectifs permettant de détecter le seuil EMG de la fatigue (Hug et al., 2009) et de prédire la capacité de travail musculaire (Boyas et al., 2009) sur la base des évolutions précoces des paramètres EMG mesurées au cours d'exercices sous-maximaux. Ces travaux devraient permettre, à terme, de mettre au point des protocoles de mesure des capacités musculaires pour des populations de sujets pathologiques qui ne peuvent pas être évalués sur des exercices menés jusqu'à épuisement.

### *De l'activité musculaire au mouvement*

Ce niveau d'analyse vise, en étroite relation avec le niveau d'analyse précédent, l'étude *in vivo* des caractéristiques du système musculo-articulaire associées à la capacité **de production** et de **transmission de la force musculaire** aboutissant à la réalisation d'un mouvement et d'une performance motrice dans le contexte de la vie quotidienne, professionnelle ou d'activités sportives. Il s'agit, à partir de méthodes originales développées au laboratoire, d'analyser et de modéliser, d'abord globalement puis en tentant de le dissocier, le comportement mécanique (e.g., force, viscoélasticité, géométrie) des structures mobilisées (e.g., muscle, tendon) soumises à différentes contraintes aiguës et chroniques.

Cette approche biomécanique d'analyse du système musculo-articulaire s'appuie sur le développement de méthodologies novatrices basées sur l'utilisation de quatre principaux types de dispositifs disponibles au laboratoire ainsi que sur les outils présentés dans la partie précédente.

- La caractérisation des paramètres biomécaniques externes est réalisée à l'aide de **dynamomètres isocinétiques** (Biodex). Ces dynamomètres permettent également de standardiser les situations expérimentales dans le cadre des protocoles que nous développons. Par ailleurs, des ergomètres spécifiques sont développés et validés lorsque nos protocoles le nécessitent.
- La détermination de la géométrie et de l'architecture musculaire est réalisée à l'aide d'un **échographe** (Philips HD3®). Les mesures ainsi réalisées permettent de caractériser indirectement (en mesurant les déplacements musculaires et tendineux) et moyennant certaines hypothèses, les propriétés mécaniques du muscle et du tendon. Cependant, la fréquence d'acquisition des échographes du commerce, réduite à 50-100Hz, limite les

---

<sup>1</sup> Optimisation de la Performance et interactions homme-machine en sport Automobile et en Aviron

<sup>2</sup> Contrat industriel avec la société CP Technology

<sup>3</sup> Pr. Heidi Svstrup et Pr. Martin Bilodeau, Université d'Ottawa, Faculté des sciences de la santé

<sup>4</sup> Ashleigh Kennedy, doctorante, Université d'Ottawa et Université de Nantes

investigations en temps réel de l'ensemble muscle tendon. Nous utilisons un échographe ultrarapide qui permet de quantifier les déplacements au sein du muscle jusqu'à 10 kHz.

- Les propriétés mécaniques locales du muscle peuvent être directement déterminées à l'aide de l'**élastographie impulsionnelle**. Cependant la technique unidimensionnelle utilisée par le laboratoire présente certaines limites qui sont levées en mobilisant la nouvelle technique nommée « **supersonic shear imaging** ». Cette technique est disponible dans le nouvel échographe commercialisé par Supersonic Imagine (AixPlover, Aix en Provence, France) que nous devrions acquérir rapidement.

Les travaux conduits dans le laboratoire ont permis de développer et valider des méthodes de caractérisation de la fonction neuromusculaire et du système musculo-articulaire. Nous avons par exemple réussi à dissocier *in vivo* le comportement biomécanique des muscles et des tendons (Fouré et al., in press ; Nordez et al., in press.a) et, celui des muscles mono- et bi-articulaires croisant l'articulation de la cheville (Fouré et al., 2009 ; Nordez et al., in press.b)<sup>5</sup>. Le développement de ces méthodes nous a permis de mieux comprendre et de modéliser le comportement du système musculo-articulaire (Dalleau et al., 2007 ; Nordez et al., 2008a ; Rahmani et al., 2009). Ceci nous a conduit par exemple à proposer d'intégrer un frottement sec pour expliquer le comportement dissipatif du système musculo-articulaire passif (Nordez et al., 2009a). Nous avons également développé des approches méthodologiques visant à standardiser les modalités de contraction isotonique *vs* isocinétique en vue d'étudier les adaptations neuromusculaires induites par ces modes d'entraînement musculaire (Guilhem et al., in press ; Remaud et al., 2005) et améliorer l'utilisation de protocoles isocinétiques (Deslandes et al., 2008a, 2008b ; Ripamonti et al., 2008 ; Serveto et al., 2008). Par ailleurs, il existe un délai entre le début d'activation électrique musculaire et la production de force externe. Les contributions relatives des différents mécanismes impliqués dans ce délai n'étaient jusqu'alors pas décrites. Le couplage excitation-contraction et la transmission de la force musculaire le long des différentes composantes élastiques séries de l'ensemble muscle-tendon ont été caractérisés grâce à l'échographie ultrarapide (Nordez et al., 2009b)<sup>6</sup>. Ces travaux trouvent actuellement un prolongement dans le domaine de l'exploration des capacités fonctionnelles des personnes atteintes de pathologies neuromusculaires<sup>7</sup>. Enfin, un des enjeux scientifiques et technologiques en biomécanique se situe dans notre capacité à déterminer la force produite par un muscle isolément au sein de son groupe musculaire. Sur la base de travaux menés par élastographie sur le muscle (Gennisson et al., 2005 ; Nordez et al., 2008b, 2009c), nous cherchons à atteindre cet objectif en développant une approche novatrice mobilisant la nouvelle technologie échographique. Cette estimation de la force musculaire devrait constituer une information particulièrement pertinente et complémentaire des mesures d'activité électrique musculaire réalisées dans le cadre de l'étude des *coordinations musculaires*.

Nous nous sommes également attachés à déterminer les adaptations nerveuses et musculaires (architecture, hypertrophie, atrophie), ainsi que les modifications des mécanismes de stockage-restitution-dissipation d'énergie par le complexe musculo-articulaire induites par différentes sollicitations telles que les étirements (cyclique *vs* statique), ou l'entraînement musculaire. Nous avons montré par exemple que les étirements statiques induisent une augmentation temporaire de la longueur des muscles alors que les étirements cycliques déclenchent une réorganisation des tissus musculo-tendineux (e.g. Nordez et al., 2008c, 2009d, in press.b). Par ailleurs, l'entraînement de type pliométrique induirait une moindre dissipation d'énergie associée à une augmentation de la raideur tendineuse et une diminution de la raideur musculaire à l'origine de l'augmentation de performance (Fouré et al., 2009). Par ailleurs, les modalités d'entraînement isocinétique *vs* isotonique en régime de contraction concentrique et excentrique ont été analysés et comparés dans des conditions standardisées afin de mieux comprendre les gains de production de force, les adaptations nerveuses et musculaires spécifiques et associées à ces modes d'entraînement musculaire (Guilhem et al., 2009 ; Remaud et al., 2009 ; Remaud et al., in press).

Cette approche vise également à décrire les adaptations biomécaniques induites par certaines pratiques sportives telles que l'aviron, le volley-ball (Cornu et al., in press), le cyclisme (Hug et al.,

---

<sup>5</sup> Contrat AFM 2009 n° 13923

<sup>6</sup> Contrat AFM 2009 n° 14084

<sup>7</sup> Projet soumis à l'AFM – appel d'offre 2010

2008), le tennis (Durand et al., in press), ou par des gestes techniques tels que le squat ou le développé couché (Rahmani et al. 2009), ou encore par des pathologies musculo-squelettiques (Ripamonti et al., 2008).

Notre programme doit permettre à terme, dans la continuité de ce qui a déjà été produit par notre équipe de mieux appréhender la commande motrice et le comportement du système musculo-articulaire, et de modéliser et prédire la capacité de travail du système neuromusculaire ainsi que le comportement des structures impliquées dans la production du mouvement. Ceci devrait aboutir à la conception et à la validation d'outils de diagnostic et de suivi de la fonction neuromusculaire ainsi qu'au développement de préconisations en terme d'optimisation de la production de force et du mouvement, qu'il s'agisse d'actions à visée thérapeutique, de réadaptations fonctionnelle, de renforcement musculaire ou encore dans le cadre de pratiques sportives.

#### Principaux projets financés en cours et à venir

- Optimisation de la Performance et interactions homme-machine en sport Automobile et en Aviron (OPERF2A). Volet *Sport Automobile* – Etudes 1 et 2 ; Volet *Aviron* – Etude 2. Financement Région des Pays de la Loire (2008 – 2011).
- Characterization of the electromechanical delay by using ultrafast echographic imaging of *in vivo* muscle-tendon unit. Financement AFM (2009 - 2010), contrat n° 14084
- Characterization of muscle and tendon mechanical and geometrical properties by local and integrated methods in a non invasive way. Financement AFM (2009 - 2010), contrat n° 13923
- An innovative tool to assess muscle function of healthy and pathological subjects. Demande AFM en cours, appel d'offre 2010

## Axe 2 : Dynamique psychologique de l'activité : de l'individu au collectif

L'axe de recherche « Dynamique psychologique de l'activité » s'attache à **caractériser la manière dont les individus s'adaptent au cours du temps** pour faire face à diverses contraintes liées à la pratique physique dans différentes situations sportives. L'originalité des études développées dans cet axe au sein du laboratoire « Motricité, Interactions, Performance », réside dans le fait qu'elles interrogent ces adaptations :

- **du point de vue de leurs manifestations subjectives et comportementales** afin de rendre compte de la manière dont les individus font l'expérience de situations sportives dans lesquelles ils sont engagés, et s'y adaptent sur le plan sensori-moteur ;
- **dans leur temporalité** afin de rendre compte de la dynamique des transformations et de respecter ainsi l'historicité de toute activité humaine. L'objectif est d'identifier des régularités, des périodicités et/ou des changements dans l'évolution temporelle de différentes composantes de l'activité humaine ;
- **à deux niveaux d'analyse** (individuel, collectif) afin de rendre compte de l'agencement des dynamiques de transformations. Les modélisations des dynamiques des transformations à ces deux niveaux sont susceptibles de s'enrichir mutuellement.

### *Niveau individuel*

Ce niveau d'analyse vise à rendre compte de la **dynamique de l'activité individuelle et de ses transformations**. Il s'agit de décrire / comprendre / expliquer la dynamique (a) des processus sensori-moteurs qui sous-tendent la production de mouvements complexes, (b) de certains construits psychologiques, caractérisant les processus d'adaptation psychologique à la pratique physique (à plus ou moins long terme), et (c) des expériences subjectives d'individus engagés dans des situations sportives.

Ces études sont menées avec différentes populations (sportifs et entraîneurs de haut niveau, élèves et enseignants d'EPS, patients dépressifs, obèses).

Plusieurs méthodologies sont mises en œuvre :

- des **analyses de séries temporelles**. Il s'agit de rendre compte de la manière dont évoluent certaines dimensions psychologiques (e.g., le Soi). Des auto-évaluations recueillies par questionnaire permettent de construire des séries temporelles qui sont ensuite analysées au moyen de procédures statistiques (e.g., ARIMA). Ces modélisations mathématiques permettent au chercheur à la fois d'identifier la manière dont les perceptions se construisent dans le temps, mais également d'identifier les transformations temporelles et leur importance. Dans certains cas, ces analyses sont complétées par des données de verbalisation.
- des **analyses sémiologiques de l'activité**. Il s'agit de rendre compte de la manière dont évoluent les préoccupations, attentes, connaissances, émotions, interprétations d'un individu au cours d'une période d'activité, en relation avec les contraintes / ressources de la situation. Cet enchaînement dynamique est reconstruit sur la base de l'articulation de données comportementales et de verbalisations rétrospectives. Ces données d'observation et de verbalisation permettent au chercheur, moyennant des précautions méthodologiques, de reconstruire l'activité passée en s'appuyant sur le point de vue de l'individu et en respectant la dynamique temporelle de cette activité.

Ce niveau d'analyse et le recours à ces méthodologies permettent de construire des modèles de l'activité mettant en exergue des **phénomènes originaux relatifs aux processus d'adaptation psychologique**. Par exemple, des études menées au sein de notre laboratoire ont mis en évidence un phénomène de méta-stabilité des coordinations inter-segmentaires généré par les intentions (Murian et al., 2007). Ces travaux, visant l'analyse de la complexité motrice (i.e., problème du nombre de DDL à assembler et contrôler), révèlent également des co-variations différenciées entre le coût *en attention* associé à la production de mouvement et le niveau de stabilité motrice, et ce en fonction du temps de réalisation, de consignes intentionnelles et/ou de contraintes neuromusculaires (résistance, charge et/ou fatigue) (Murian & Deschamps, 2007 ; Murian et al., 2008a, 2008b). D'autres études, centrées sur la dynamique du Soi, ont permis de caractériser le fonctionnement des patrons d'évolution de cette dynamique chez le sujet « sain » (e.g., Fortes et al., 2005), interrogeant les théories classiques du Soi (Fortes et al., 2004 ; Ninot & Fortes, 2007). Ils ont également permis d'identifier une dynamique du Soi caractéristique d'un fonctionnement mal adaptatif dans le domaine sportif (athlètes de haut niveau) et de la santé (obèses), et révélé la forte vulnérabilité et sensibilité à l'environnement de ces personnes (Fortes & Ninot, 2006 ; Fortes et al., 2009). Ces travaux sont de nature à orienter la conception et le développement de nouvelles procédures d'accompagnement et de prise en charge de ces personnes. Les analyses sémiologiques de l'activité ont, quant à elles, mis en évidence l'existence de faisceaux de préoccupations et de modes d'engagement typiques (exploratoire, exécutoire, dissimulatoire) chez des sportifs ou des élèves engagés dans les situations d'interactions coopératives et compétitives (e.g., Poizat et al., 2006 ; Sève & Poizat, 2005 ; Sève et al., 2005 ; 2006a, 2006b, 2007 ; Saury et Rossard, sous presse). Ces analyses permettent des modélisations de l'activité supportant la conception d'aides pour l'entraînement et la compétition (e.g., Sève et al., 2006a). Par ailleurs, certaines des études menées à ce niveau d'analyse ont donné lieu à des collaborations avec des partenaires institutionnels. Par exemple la collaboration avec la DRDJS des Pays de la Loire a abouti à la prise en compte des bénéfices psychologiques dans la conception des ateliers passerelles (ateliers d'activités physiques) pour des personnes obèses.

### *Niveau collectif*

Ce niveau d'analyse vise à rendre compte de la **dynamique des ajustements réciproques entre des acteurs sportifs**, interagissant dans des situations collectives (notamment coopératives ou compétitives), et de **phénomènes collectifs** émergeant de l'interaction des activités individuelles. Il s'agit de décrire, comprendre et expliquer comment cette dynamique influe sur les transformations de l'activité individuelle et collective.

Les méthodologies associées à ce niveau d'étude sont :

- des **analyses sémiologiques de l'activité**. Il s'agit de rendre compte de la manière dont s'articulent les expériences subjectives d'individus engagés dans une même situation, en relation avec les contraintes / ressources de celle-ci. Ces analyses sémiologiques sont complétées dans certaines études par d'autres types d'analyse afin de préciser les contraintes de la situation participant aux ajustements réciproques, sans être nécessairement significatifs pour les individus (qu'il s'agisse de conditions matérielles ou spatio-temporelle, physiologiques, mécaniques ou culturelles). Cela peut conduire par exemple, en aviron, à l'analyse de paramètres mécaniques corrélatifs des modalités d'ajustement réciproque entre rameurs, tels que les forces appliquées sur les dames de nages, les différences d'amplitude entre les coups d'aviron ; ou en éducation physique, à l'analyse de la façon dont les éléments de la culture scolaire des élèves configurent leurs interactions dans les situations d'apprentissage, et la nature des connaissances qu'ils développent.
- des **analyses recourant à des outils mathématiques de la théorie des systèmes complexes non-linéaires**. Ce cadre d'analyse permet de détecter, d'identifier et de quantifier la persistance et la dépendance temporelle de fluctuations des séries temporelles (rendant compte, par exemple, de déplacements dans l'espace). Tout changement de la régularité de la série temporelle est considéré comme le témoin d'une modification de la complexité du système, à savoir une variation de la capacité d'adaptabilité de l'individu aux changements de l'environnement physique et social.

Ce niveau d'analyse et le recours à ces méthodologies permettent d'identifier des **phénomènes originaux relatifs aux ajustements interpersonnels**. Les études menées au sein de notre laboratoire ont notamment permis de caractériser différents modes de partage cognitif entre des sportifs engagés dans des interactions coopératives ou compétitives. Par exemple les travaux réalisés avec des équipes de basket-ball ont mis en évidence la diversité des formes de partage chez les membres de l'équipe et leur évolution au cours du match (Bourbousson et al., 2008, sous presse). Ces études ont également décrit des processus participant aux différents modes de coordination. Par exemple des travaux en tennis de table et en voile ont mis en évidence la manière dont des processus tels que la mise en visibilité, le masquage, l'enquête, et la recherche d'influence, influent sur la manière dont se coordonnent les membres d'une même équipe (Poizat et al., 2008, 2009 ; Saury, 2008). D'autres travaux en aviron ont mis en évidence des processus différenciés d'ajustements mutuels au sein d'équipages de haut niveau, s'exprimant à un niveau significatif pour les rameurs et à un niveau sensori-moteur, et révélant à la fois le coût cognitif de ces ajustements dans l'activité des rameurs, et l'originalité de ces processus d'ajustements au regard des modèles techniques de la coordination en aviron (Saury et al., 2009 ; Sève et al., 2009)<sup>8</sup>.

Au-delà des ajustements interpersonnels, nous avons également décrit et caractérisé, à ce niveau d'analyse, des **transformations « macroscopiques » liées à la dynamique des activités individuelles dans des situations collectives** (e.g., configurations de jeu dans les équipes de sports collectifs), et des relations entre les transformations « macroscopiques » et les dynamiques individuelles de transformation des membres du collectif. Par exemple des études menées en basket-ball ont mis en évidence des couplages spatiaux temporels typiques entre les partenaires d'une même équipe et entre partenaires et adversaires (Bourbousson et al., 2009a, 2009b)<sup>9</sup>.

Enfin, des travaux conduits au sein de notre équipe ont montré la **dynamique de comportements sociaux fonctionnels** (dans le but de réaliser une tâche ensemble), au travers de l'étude

<sup>8</sup> Ces travaux ont donné lieu à la soumission récente d'un article : Saury, J., Nordez, A., & Sève, C. (soumis). Coordination interindividuelle et performance en aviron : apports d'une analyse conjointe du cours d'expérience des rameurs et de paramètres mécaniques. @ctivités.

<sup>9</sup> Ces travaux ont donné lieu à la soumission de deux articles, actuellement en révision : a) Bourbousson, J., Sève, C., & McGarry, T. (revision). Space-time coordination patterns in basketball: Part 1 – Intra- and inter-couplings amongst player dyads. *Journal of Sport Sciences* ; b) Bourbousson, J., Sève, C., & McGarry, T. (revision). Space-time coordination patterns in basketball: Part 2 : A macroscopic description of the two interacting teams. *Journal of Sport Sciences*.

de la synchronisation volontaire des mouvements entre deux personnes. Considérant les patrons de coordination inter-personnelle comme la manifestation comportementale de la complexité du système, ces travaux interpellent les effets différenciés et interactifs de variables physiques (e.g., charge, fatigue neuromusculaire), et/ou psycho-sociales (e.g., genre, personnalité, etc.) sur les changements de la complexité. Appréhendée tant au niveau des composants du système qu'au niveau du couplage « social », l'analyse de la complexité révèle des phénomènes d'influence mutuelle, ou encore de régulations différenciées des capacités d'adaptation des individus (Deschamps et al., 2008).

Des perspectives sont envisagées aux deux niveaux d'analyse. Jusqu'à présent les études menées au niveau individuel sont relativement indépendantes. Une des perspectives est d'articuler les points de vue avec une même population d'étude (e.g., étudier des sujets dépressifs ou des sportifs de haut niveau sous l'angle de la dynamique du soi en relation avec la dynamique des expériences subjectives ; analyser comment la dynamique des expériences subjectives peut influencer les modes de coordinations inter-segmentaires, etc). Les travaux conduits au niveau collectif ont montré la fécondité empirique d'une analyse des ajustements réciproques entre acteurs permettant de croiser des analyses de dimensions variées de l'activité collective. L'une des perspectives majeures est d'affirmer cette orientation, afin de mieux appréhender la complexité de l'activité collective, tout en développant des méthodologies originales. Il s'agira en particulier d'intégrer plus systématiquement des analyses d'ajustements sensori-moteurs et comportementaux entre acteurs sur des échelles temporelles courtes, et des analyses de dynamiques collectives macroscopiques (ou révélatrices de cultures partagées) sur des échelles temporelles plus longues.

#### Principaux projets financés en cours et à venir

- Optimisation de la Performance et interactions homme-machine en sport Automobile et en Aviron (OPERF2A). Volet *Aviron* – Etude 3. Financement Région des Pays de la Loire (2008 – 2011).
- Dépression, Dynamique Psychologique, Activité Physique (2DPAP). Financement Région des Pays de la Loire (2009 – 2012).
- Effets de pratiques physiques adaptées sur la qualité de vie et le bien-être des personnes obèses : une perspective dynamique. Financement de la DRDJS des Pays de la Loire (2007 – 2009).
- Convention CIFRe avec la société PerformanSe (Carquefou). Thèse relative à l'analyse de l'activité collective pour la conception de dispositifs de formation au travail collaboratif (2008-2011).

## Conclusion

Le programme scientifique de l'équipe « Motricité, Interactions, Performance » est fondé sur un pari ambitieux, qui consiste à défendre la possibilité et la fécondité du développement de recherches de haut niveau scientifique (reconnues dans chacune des disciplines représentées) dans un cadre pluridisciplinaire qui lui confère une pertinence particulière dans le champ des STAPS, et plus largement dans celui des sciences du sport et de l'activité physique. La restructuration des deux axes thématiques au sein desquels s'organise l'activité scientifique de l'équipe et qui sont présentés dans ce programme, atteste à nos yeux de la crédibilité de ce pari, tout en témoignant de la capacité de l'équipe à évoluer vers une meilleure intégration de ses orientations de recherche. Ces axes thématiques traduisent en effet un renforcement de la cohérence scientifique du programme, du fait de leur **centration commune sur l'analyse de la plasticité adaptative humaine et de sa dynamique dans les diverses situations motrices**, qu'elles soient sportives, éducatives, thérapeutiques ou professionnelles.

Mais au-delà des enjeux strictement épistémiques, ce programme vise à assurer une complémentarité de ses deux axes thématiques au regard d'enjeux liés à des demandes sociales, spécifiées en termes de transfert de connaissances, de conception de dispositifs d'entraînement, d'enseignement ou



de réhabilitation, ou plus généralement d'interventions dans les champs sportif, éducatif ou professionnel. Ces enjeux sont déjà assumés au sein de l'équipe, notamment dans le cadre de différents contrats financés par la Région des Pays de la Loire, par l'Association Française contre les Myopathies, ou encore de contrats CIFRE. Ils ont vocation à s'étendre plus largement, avec la contribution de notre équipe à la conception d'instruments d'analyse et de diagnostic, de prédiction utilisables dans le suivi de l'entraînement et la réhabilitation (e.g., diagnostic de la fatigue neuro-musculaire, prédiction de la capacité de travail musculaire, de conduites psychologiques adaptatives vs. maladaptatives, évaluation des dimensions collectives de la performance), ou de préconisations pour la conception de situations d'entraînement et d'enseignement sportifs.

Enfin, ce programme scientifique, du fait de sa pluridisciplinarité et de son organisation thématique, a pour ambition de répondre à une exigence majeure en termes d'articulation de l'activité scientifique d'un laboratoire en STAPS avec les formations développées dans cette section universitaire au sein des deux établissements (Université de Nantes, Université du Maine). Outre les activités d'initiation à la recherche et d'accueil d'étudiants en stage au niveau L, le programme scientifique de l'équipe « Motricité, Interactions, Performance » s'inscrit en cohérence étroite avec les objectifs et contenus des spécialités « Expertise, Performance, Intervention » (EPI), et « Ingénierie de la Rééducation, du Handicap et de la Performance Motrice » (IRHPM) du Master STAPS du Réseau des Universités Ouest Atlantique (RUOA), auxquels le laboratoire est adossé. Cette articulation étroite entre les activités du laboratoire et les formations en STAPS garantit, dès à présent, une attractivité de notre équipe de recherche pour des étudiants Ligériens mais aussi plus largement pour des étudiants provenant d'autres universités, ou de l'ENS Cachan, qui candidatent notamment pour réaliser leur thèse au sein du laboratoire « Motricité, Interactions, Performance ». La restructuration de notre programme scientifique et l'amélioration de sa lisibilité est de nature à accroître cette attractivité durant la deuxième période de l'habilitation 2008-2011, et lors de la prochaine habilitation (2012-2015).

## Références

- Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., & Sève, C. (2008). Caractérisation des modes de coordination interpersonnelle au sein d'une équipe de basket-ball. @ctivités, 5 (1), 21-39.
- Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., & Sève, C. (in press). Team coordination in basketball: description of the cognitive connections between teammates. *Journal of Applied Sport Psychology*.
- Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2009a). *Space-time coordination dynamics in basketball: Intra- and inter-couplings amongst player dyads*. 14<sup>th</sup> annual Congress of the European College of Sports Science, Oslo, Norway, 24-27 June 2009.
- Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2009b). *Space-time coordination dynamics in basketball: Investigating the interaction between the two teams*. 14<sup>th</sup> annual Congress of the European College of Sports Science, Oslo, Norway, 24-27 June 2009.
- Boyas, S., Maïsetti, O., & Guével, A. (2009). Changes in sEMG parameters among trunk and thigh muscles during a fatiguing bilateral isometric multi-joint task in trained and untrained subjects. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10, 259-268.
- Cornu, C., Nordez, A., & Bideau, B. (in press). Shoulder rotators electro-mechanical properties change with intensive volleyball practice : a pilot study. *International Journal of Sports Medicine*.
- Dalleau, G., Rahmani, A., & Verkindt, C. (2007). Relation entre la puissance et la raideur musculotendineuse chez les sportifs de haut niveau. *Science & Sports*, 22, 110-116.
- Deschamps, T., Murian, A., & Temprado, J-J. (2008). *Effets du vieillissement sur la dynamique des coordinations interpersonnelles*. Communication présentée au X<sup>ème</sup> Colloque International sur le Vieillessement Cognitif, Paris, 4-5 Septembre 2008.
- Deslandes, S., Mariot, J.-P., & Colin, D. (2008a). A dedicated device for isokinetic and isometric measurements of neck strength. *Isokinetics and Exercise Science*, 16 (4), 269-273.
- Deslandes, S., Mariot J.-P., & Serveto, S. (2008b). Offset of rotation centers creates a bias in isokinetics. A virtual model including stiffness or friction. *Journal of Biomechanics*, 41(10), 2112-2120.
- Durand, S., Gagé G., Beaune, B., Rahmani, A., & Ripamonti, M. (in press). Puissance anaérobie des membres inférieurs chez des joueurs de tennis de 2ème et 3ème série. *Science & Sports*.
- Fortes, M., Ninot, G., & Delignières, D. (2005). The dynamic adjustment of physical self in adults. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 27, S65.
- Fortes, M., Courbalay, A. & Mahieux, A. (2009). *Etude exploratoire de la Dynamique du soi chez des personnes obesés participants a un programme d'activité physique*. Congrès International de la SFPS, 1-3 juillet 2009, Paris.
- Fortes, M., Delignières, D., & Ninot, G. (2004). The dynamics of self-esteem and physical self: Between preservation and adaptation. *Quality and Quantity*, 38, 735-751.

- Fortes, M., & Ninot, G. (2006). *The role of extreme endurance training on self-esteem dynamics*. 26<sup>th</sup> International Congress of Applied Psychology. Athènes, 17-21 juillet 2006.
- Fouré A., Nordez A., Cornu, C. (in press). In vivo assessment of both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness using the alpha method: a reliability study. *International Journal of Sports Medicine*.
- Fouré, A., Nordez, A., Guette, M., & Cornu, C. (in press). Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii and musculo-articular complex of ankle joint. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*.
- Gennisson, J.L., Cornu, C., Catheline, S., Fink, M., & Portero, P. (2005). Human muscle hardness assessment during incremental isometric contraction using the transient elastography technique. *J. Biomech.*, 38(7), 1543-1550.
- Guilhem, G., Cornu, C., Guével, A. (2009) Muscle activity and muscular architecture variation during lengthening contractions in isotonic and isokinetic modes. *XXII Congress of International Society of Biomechanics*. July, Cape Town (AFS). Hug, F., Bendahan, D., Le Fur, Y., Cozzone, P.J., & Grélot, L. (2004). Heterogeneity of muscle recruitment pattern during pedaling in professional road cyclists: a magnetic resonance imaging and electromyography study. *European Journal of Applied Physiology*. 92(3), 334-42.
- Guilhem, G., Cornu, C., Nordez, A., Guével, A. (in press). New device to study isotonic eccentric exercise. *J Strength Cond Res*.
- Hug, F., Bendahan, D., Le Fur, Y., Cozzone, P.J., & Grélot, L. (2004). Heterogeneity of muscle recruitment pattern during pedaling in professional road cyclists: a magnetic resonance imaging and electromyography study. *European Journal of Applied Physiology*. 92(3), 334-42.
- Hug, F., Drouet, J.M., Champoux, Y., Couturier, A., & Dorel, S. (2008). Inter-individual variability of EMG patterns and pedal force profiles in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 667-678.
- Hug, F., Nordez, A., & Guével, A. (2009). Can the electromyographic fatigue threshold be determined from superficial elbow flexor muscles during an isometric single-joint task? *European Journal of Applied Physiology*, 107, 193-201.
- Maisetti, O., Boyas, S., & Guével, A. (2006). Specific neuromuscular responses of high skilled laser sailors during a multi-joint posture sustained until exhaustion. *International Journal of Sports Medicine*, 27(12), 968-975.
- Murian, A., & Deschamps, T. (2007). Neuromuscular constraints affect movement precision in a reciprocal aiming task: previous muscle activity and load effect. In N. Gantchev (Ed.), *From Basic Motor Control to Functional Recovery V* (pp. 130-138). Sofia: Academic Publishing House.
- Murian, A., Deschamps, T., & Bardy, B. (2007). A temporal limit for the influence of volition on stability of rhythmic bimanual coordination. *International Journal of Sport Psychology*, 38, 321-336.
- Murian, A., Deschamps, T., Bourbousson, J., & Temprado, J-J. (2008a). Influence of an exhausting muscle exercise on bimanual coordination stability and attentional demands. *Neuroscience Letters*, 432, 64-68.
- Murian, A., Deschamps, T., & Temprado, J-J. (2008b). Effects of force production and trial duration on bimanual performance and attentional demands in rhythmic coordination task. *Motor Control*, 12, 21-37.
- Ninot, G. & Fortes, M. (2007). Étudier la dynamique de construits en psychologie sociale. *Science et Motricité*, 60, (1), 11-42.
- Nordez, A., Casari, P., & Cornu, C. (2008a). Effects of stretching velocity on passive resistance developed by the knee musculo-articular complex. *European Journal of Applied Physiology*, 103(2), 243-50.
- Nordez, A., Casari, P., Mariot, J.P., & Cornu, C. (2009a). Modeling of the passive mechanical properties of the musculo-articular complex: acute effects of cyclic and static stretching. *Journal of Biomechanics*, 42(6), 767-73.
- Nordez, A., Gallot, T., Catheline, S., Guével, A., Cornu, C., & Hug, F. (2009b). Electromechanical delay revisited using very high frame rate ultrasound. *Journal of Applied Physiology*, 106(6), 1970-5.
- Nordez, A., Guével, A., Casari, P., Catheline, S., & Cornu, C. (2009c). Assessment of muscle hardness changes induced by a submaximal fatiguing isometric contraction. *J Electromyogr Kinesiol.*, 19(3), 484-91.
- Nordez, A., Gennisson, J.L., Casari, P., Catheline, S., & Cornu, C. (2008b). Characterization of muscle belly elastic properties during passive stretching using transient elastography. *Journal of Biomechanics*, 41(10), 2305-2311.
- Nordez, A., McNair, P.J., Casari, P., & Cornu, C. (2008c). Acute changes in hamstrings musculo-articular dissipative properties induced by cyclic and static stretching. *International Journal of Sports Medicine*, 29(5), 414-418.
- Nordez, A., McNair, P.J., Casari, P., & Cornu, C. (2009d). The effect of angular velocity and cycle on the dissipative properties of the knee during passive cyclic stretching: A matter of viscosity or solid friction. *Clin Biomech*, 24(1), 77-81.
- Nordez, A., Fouré, A., Dombrowski, E., Mariot, J-P., Cornu, C., & McNair P.J. (in press a). Improvements to Hoang et al.'s method for measuring passive length-tension properties of human gastrocnemius muscle in vivo. *Journal of Biomechanics*.
- Nordez, A., McNair, P.J., Casari, P., & Cornu, C. (in press b). Static and cyclic stretching: their different effects on the passive torque-angle curve. *J. Sci. Med. Sports*.
- Poizat, G., Bourbousson, J., Saury, J., Sève, C. (2009). Analysis of contextual information sharing during table tennis matches: An empirical study on coordination in sports. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 7(4).
- Poizat, G., Sève, C., & Rossard, C. (2006). Influencer les jugements au cours des interactions sportives compétitives : un exemple en tennis de table. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 56, 167-178.
- Poizat, G., Sève, C., Serres, G. & Saury, J. (2008) Analyse du partage d'informations contextuelles dans deux formes d'interaction sportives : coopérative et concurrentielle. *Le Travail Humain*, 71, 323-357.
- Rahmani, A., Rambaud, O., Bourdin, M., & Mariot, J-P. (2009). A virtual model of the bench press. *Journal of Biomechanics*, 42, 1610-1615.
- Remaud, A., Cornu, C., & Guével, A. (2005). A methodologic approach for the comparison between dynamic contractions : influences on the neuromuscular system. *Journal Athletic Training*, 40(4), 281-287.
- Remaud, A., Cornu, C., & Guével, A. (2009) Agonist muscle activity and antagonist muscle co-activity levels during standardized isotonic and isokinetic knee extensions. *J Electromyogr Kinesiol.* 19, 449-458.
- Remaud, A., Cornu, C., Guével, A. (in press). Neuromuscular adaptations to 8-week strength training: isotonic versus isokinetic mode. *Eur J Appl Physiol*.

- Ripamonti, M., Colin, D., & Rahmani, A. (2008). Torque-velocity and power-velocity relationships during isokinetic trunk flexion and extension. *Clinical Biomechanics*, 23, 520-526.
- Ripamonti, M., Colin, D., & Rahmani, A. (in press). Torque-velocity and power-velocity relationships during isokinetic trunk flexion and extension. *Clinical Biomechanics*, 23, 520-526.
- Saury, J. (2008). Transitions entre formes coopératives et concurrentielles de l'activité collective dans la prise de décision tactique au sein d'équipages experts en voile. In J.M. Hoc & Y. Corson (Eds.), *Actes du Congrès 2007 de la Société Française de Psychologie* (pp. 177-185). [<http://www.sfpsy.org/IMG/pdf/actes-SFP2007.pdf>].
- Saury, J., Nordez, A., & Sève, C. (2009). *Analyser la performance collective en aviron en croisant une description de l'expérience subjective des rameurs et le traitement de données mécaniques*. Congrès International de la SFPS, 1-3 juillet 2009, Paris.
- Saury, J., & Rossard, C. (sous presse). Les préoccupations des élèves durant des tâches d'apprentissage coopératives et compétitives en badminton : une étude de cas. *Revue des Sciences de l'Éducation*.
- Serveto, S., Mariot, J.-P., & Diaby, M. (2008). Modelling and measuring the axial force generated by tripod joint of automotive drive-shaft. *Multibody System Dynamics*, 19(3), 209-226.
- Sève, C., Nordez, A., & Saury, J. (2009). *Analyse des dimensions subjectives de la coordination entre rameurs dans la recherche de performance en aviron*. Congrès International de la SFPS, 1-3 juillet 2009, Paris.
- Sève, C., & Poizat, G. (2005) Table tennis scoring systems and expert players' exploration activity. *International Journal of Sport Psychology*, 36, 320-336.
- Sève, C., Poizat, G., Saury, J., & Durand, M. (2006a). Un programme de recherche articulant analyse de l'activité en situation et conception d'aides à la performance : un exemple en entraînement sportif de haut niveau. *@ctivités*, 3(2), 46-64.
- Sève, C., Poizat, G., Saury, J., & Durand, M. (2006b). A grounded theory of elite male table tennis players' activity during matches. *The Sport Psychologist*, 20, 58-73.
- Sève, C., Ria, L., Poizat, G., Saury, J., & Durand, M. (2007). Performance-induced emotions experienced during high-stake table tennis matches. *Psychology of Sport and Exercise*, 8, 25-46.
- Sève, C., Saury, J., Leblanc, S., & Durand, M. (2005). Course of Action in Table Tennis : A Qualitative Analysis of Knowledge used by Three Elite Players During Typical Match Situations. *European Review of Applied Psychology*, 55, 145-155.