

**Appel à projets recherche 2012  
de la Région des Pays de la Loire**

**Volet « émergence collective »**

Titre :

**Analyse et optimisation des performances  
en Aviron et Cyclisme** : l'impact de nouvelles technologies de  
recherche et d'aide à l'entraînement.  
Approches mécanique, biologique, neurophysiologique et cognitive

Acronyme : **ANOPACy**

## DESCRIPTION DU PROJET

Acronyme : **ANOPACy**

Titre court : **Analyse et optimisation des performances en Aviron et Cyclisme**

### A. Contexte et stratégie

#### Volet « Émergence collective »

*Ce volet a un objectif essentiellement de structuration de la recherche à l'échelle régionale. Le but est de permettre la création d'une masse critique visible et de mettre les acteurs en réseau autour d'un projet de recherche dans une thématique donnée ou en interdisciplinarité. Il ne s'agit pas de mettre en place une collaboration d'opportunité par effet d'aubaine mais bien de montrer une volonté de cohérence dans la durée. Le dossier présenté devra donc reposer sur un projet scientifique de qualité composé d'axes de recherche communs et d'une perspective de développement partagée.*

- **Objectifs scientifiques**

Ce projet vise à analyser la performance sportive et les conditions de son optimisation dans deux sports « phares » sur le territoire ligérien : l'**aviron** et le **cyclisme**. Il s'agira plus particulièrement d'étudier l'impact actuel et potentiel de nouvelles technologies utilisées, d'une part, dans la recherche scientifique, et d'autre part, dans l'entraînement sportif, sur la connaissance de la performance sportive, et sur les pratiques des entraîneurs et sportifs experts. Ces deux sports, considérés conjointement, constituent un terrain de recherche pluridisciplinaire de premier intérêt du fait de leurs caractéristiques communes ou contrastées, concernant les dimensions individuelles et collectives de la performance.

Ce programme de recherche est structuré en trois axes opérationnels pluridisciplinaires :

- 1) **Analyse et optimisation des coordinations motrices**
- 2) **Adaptations et transformations du potentiel de performance**
- 3) **Caractérisation et modélisation de gestes cycliques**

**Le premier axe opérationnel est consacré à l'analyse et l'optimisation des coordinations motrices.** Nous chercherons à analyser les **coordinations intermusculaires** au cours des mouvements poly-articulaires dans un but d'optimisation de la performance motrice dans des sports imposant des gestes cycliques. Le deuxième objectif vise à caractériser les **coordinations interindividuelles** expertes au cours de la réalisation de performances collectives, qui concrétisent une « intelligence collective » dans les deux sports considérés. **Le deuxième axe opérationnel est consacré à l'analyse des adaptations et transformations du potentiel de performance au cours du temps.** Nous chercherons à comprendre et analyser les phénomènes relatifs à la **construction des modes de coordination** entre les membres d'équipes de sportifs se constituant. Le deuxième objectif au sein de cet axe, vise à caractériser les **effets de dommages musculaires** en termes d'adaptation structurale de la fonction musculaire à l'échelle de cycles d'entraînement en aviron et en cyclisme. **Le troisième axe opérationnel est consacré à la caractérisation, la modélisation et la simulation mécanique et biomécanique d'activités cycliques.** Le premier objectif vise à caractériser les relations « force-vitesse » des membres inférieurs, supérieurs et du tronc (avec une focalisation sur le geste d'aviron). Le deuxième objectif est l'analyse des interactions homme-machine dans ces deux sports par l'articulation d'approches complémentaires de mécanique, biomécanique et de mécanique des fluides en vue de modéliser les deux gestes techniques, et d'alimenter des simulateurs mécaniques et biomécaniques de ces deux activités

cycliques (en aviron : développement du simulateur GMRS, conçu dans le cadre du projet régional OPERF2A).

## B. Description du projet scientifique

- **Objectifs scientifiques**

Le cyclisme et l'aviron offrent conjointement un terrain de recherche pluridisciplinaire de premier intérêt du fait de leurs caractéristiques communes ou contrastées, concernant les dimensions individuelles et collectives de la performance. Ce projet vise à étudier la performance sportive et les conditions de son optimisation dans ces deux sports, tout en ambitionnant de répondre à des questions scientifiques originales et de portée plus générale. Il vise également à évaluer l'impact actuel et potentiel de nouvelles technologies et démarches méthodologiques innovantes, d'une part, orientées vers la recherche et au profit de la communauté scientifique, et d'autre part, orientées vers l'aide à la performance et à l'entraînement, et au bénéfice de la communauté sportive. Le programme de recherche est structuré en trois axes opérationnels et cinq thèmes d'étude.

**Le premier axe opérationnel est consacré à l'analyse et l'optimisation des coordinations motrices.** Il concerne les thèmes d'étude 1 et 2.

Le thème d'étude 1 a pour objectif d'explorer les **coordinations musculaires** au cours des mouvements poly-articulaires dans un but d'optimisation de la performance motrice dans ces sports imposant des gestes cycliques. Il s'agira à partir d'approches biomécanique et neurophysiologique, (a) de mieux appréhender les niveaux de sollicitation des différentes groupes musculaires et leurs impacts respectifs sur la production mécanique globale, (b) de dégager des stratégies d'adaptation des coordinations et leurs limites en réponse à l'apparition de la fatigue musculaire, et (c) d'identifier l'impact de l'entraînement de groupes musculaires spécifiques sur les coordinations, la production de puissance et la performance motrice au cours du mouvement.

Le thème d'étude 2 a pour objectif de caractériser les **coordinations interindividuelles** expertes au cours de la réalisation de performances collectives, qui concrétisent une « intelligence collective » dans les deux sports considérés. Il s'agira d'identifier et de caractériser les processus sous-jacents à ces coordinations, en relation avec la spécificité des contraintes situationnelles et des médiations techniques, qui font de ces situations sportives des « cas-limites » pour l'étude des coordinations interindividuelles, susceptibles de révéler des phénomènes inédits.

**Le deuxième axe opérationnel est consacré à l'analyse des adaptations et transformations du potentiel de performance au cours du temps.** Il concerne les thèmes d'étude 3 et 4.

Le thème d'étude 3 a pour objectif de favoriser la compréhension des phénomènes relatifs à la **construction des modes de coordination** entre les membres d'équipes sportives. Il s'agira de décrire la façon dont l'assemblage d'activités individuelles se transforme au cours du temps pour produire un collectif plus efficace, plus économique, et plus performant, en aviron et en cyclisme.

Le thème d'étude 4 a pour objectif de caractériser les **effets de dommages musculaires** en termes d'adaptation structurale de la fonction musculaire à l'échelle de cycles d'entraînement. Il s'agira, sur la base d'une approche novatrice en biologie moléculaire, de mettre au point une méthodologie permettant de valider des indicateurs biologiques originaux des dommages musculaires induits par une pratique sportive intensive. Puis, nous analyserons les conséquences d'entraînements musculaires imposant un stress physiologique important et à

l'origine d'adaptations structurales de la fonction musculaire.

**Le troisième axe opérationnel est consacré à la caractérisation et la modélisation de gestes cycliques.** Il concerne les thèmes d'étude 5 et 6.

Le thème d'étude 5 a pour objectif de caractériser les relations « force-vitesse » et « puissance-vitesse » des membres supérieurs, du tronc et des membres inférieurs en déterminant les profils musculaires des rameurs à partir de mouvements traditionnellement utilisés dans les programmes d'entraînement, puis d'établir des liens de corrélations entre les caractéristiques spécifiques à chacun de ces segments. Ceci permettra d'éclairer les entraîneurs dans leur approche du renforcement musculaire des rameurs.

Le thème d'étude 6 a pour objectif l'analyse des interactions homme-machine en aviron par l'articulation d'approches complémentaires de mécanique, biomécanique et de mécanique des fluides. Il s'agira également de développer et valider des outils expérimentaux et numériques utiles aux autres axes de ce projet et qui, à terme, pourront être utilisés par les acteurs du mouvement sportif pour l'analyse et l'optimisation de la performance en cyclisme et en aviron.

**Pour chacun de ces axes opérationnels, la problématique de l'impact des nouvelles technologies sera déclinée à trois niveaux** (partiellement interdépendants) :

- **Le développement de techniques de recherche novatrices** pour produire des apports originaux à la connaissance de l'activité humaine : il s'agit de valider la fécondité et la pertinence de nouveaux dispositifs d'étude, de matériels et de méthodes d'investigation et d'analyse, de simulation et de modélisation, en relation avec les visées scientifiques de ce projet ;
- **L'analyse des usages de nouvelles technologies** dans le domaine de l'entraînement et de l'optimisation des performances en cyclisme et en aviron : il s'agit de révéler les modes d'appropriation individuelle et collective de technologies par les sportifs (notamment nouvelles technologies numériques) dans le cadre des pratiques étudiées ;
- **Le développement et l'innovation technologiques** en lien avec la conception de situations d'aide et le développement des pratiques (transformation sociale) dans le domaine de l'entraînement sportif : il s'agit d'initier – en collaboration avec les acteurs sportifs – des démarches visant à construire de nouvelles modalités d'entraînement et d'optimisation de la performance, donnant accès aux acteurs à de nouveaux modes d'appropriation des objets techniques (usuels dans le domaine de l'entraînement et/ou issus de la recherche).

- **Axes opérationnels**

## **Axe opérationnel 1. Analyse et optimisation des coordinations motrices**

### **Thème d'étude 1. Optimisation des coordinations musculaires**

L'objectif de ce thème d'étude est d'explorer les interactions entre les propriétés intrinsèques des différents muscles engagés dans les mouvements poly-articulaires et leur recrutement (en termes de niveau et de séquence d'activation), en vue d'optimiser la performance motrice. L'originalité de l'approche proposée est d'aborder les coordinations musculaires à travers l'étude simultanée de variables électromyographiques (technique d'extraction des synergies musculaires, estimation des niveaux de sollicitation et des séquences d'activité des différents groupes musculaires, Turpin et al., 2011; Hug et Dorel, 2009), dynamiques (mesure des forces externes par des dynamomètres spécifiques 2 et 3D), cinématiques (permettant de calculer les efforts produits au niveau des articulations principales, cf. thème 6 « modélisation et simulation »), échographiques (mesure de la longueur des fascicules ou des fibres musculaires), et neurophysiologiques (évaluation des composantes centrales et/ou

périphériques de la fatigue neuromusculaire). Cette approche s'appuiera plus particulièrement sur l'étude de deux mouvements poly-articulaires : le pédalage et le geste d'aviron.

Un premier volet d'expérimentations visera à **caractériser l'existence et l'intérêt de compensations intermusculaires au cours des tâches cycliques poly-articulaires**. Pour commencer, nous étudierons l'intérêt d'induire une variabilité importante des patrons d'activation musculaire au cours d'un exercice intense sous-maximal fatigant, afin de tester l'hypothèse selon laquelle cela constituerait une stratégie bénéfique permettant un recul de l'apparition de la fatigue notamment de la fatigue périphérique au niveau des principaux groupes musculaires producteurs de puissance. Dans un second temps, nous chercherons à mettre en évidence l'influence d'une fatigue intense induite expérimentalement au niveau d'un ou plusieurs muscles sur les coordinations musculaires. Nous nous intéresserons notamment aux interactions entre les muscles mono-articulaires, principaux producteurs de puissance, et les muscles bi-articulaires, responsables du transfert de la puissance à l'interface avec l'environnement (e.g., pied/pédale, Raasch et Zajac, 1997 ; Zajac, 2002). Un travail aura pour but d'étudier l'impact d'une pré-fatigue intense d'un groupe musculaire sur les synergies musculaires à l'exercice intense en aviron et un autre testera les effets d'une pré-fatigue intense d'un groupe musculaire distal (i.e. fléchisseurs plantaires) sur les coordinations et la puissance maximale au cours d'un exercice explosif de pédalage.

Un deuxième volet s'intéressera aux **différentes techniques et outils d'entraînement spécifiques et leurs effets sur les coordinations et la performance**. Un premier protocole aura pour but d'étudier les coordinations pendant le geste d'aviron au cours de trois sessions réalisées respectivement sur un ergomètre classiquement utilisé dans l'entraînement des rameurs, un ergomètre spécifique modifié (cale pied mobile), et enfin lors d'une condition *in situ* en navigation. L'objectif sera de tester la capacité des différents ergomètres à reproduire la cinématique, la dynamique et les coordinations musculaires obtenues en navigation. Dans un second temps, nous testerons des méthodes d'entraînement innovantes au cours du mouvement de pédalage en utilisant notamment les manivelles *Powercranks* (i.e., indépendantes l'une de l'autre), et le travail de la technique de pédalage par feedback direct grâce à l'utilisation de pédales dynamométriques. Le but sera de mesurer l'impact à moyen terme d'un travail musculaire de la chaîne des fléchisseurs de la hanche et du genou sur les coordinations musculaires et leur efficacité mécanique associée.

Un troisième volet prévoit d'utiliser une technique innovante d'**échographie ultra-rapide** maîtrisée par le laboratoire MIP pour mesurer, au cours du mouvement, un certain nombre de variables caractéristiques de la fonction musculaire. Un premier objectif sera de mesurer les vitesses de contraction de muscles spécifiques (mono et bi-articulaires) en aviron à différents niveaux de puissance et de cadence. Cette étude devrait permettre de mieux comprendre le rôle de ces muscles dans la tâche, par exemple dans le but de proposer par exemple des protocoles de renforcement musculaire spécifiques. Un deuxième objectif sera de mettre en évidence les limites de la capacité du système neuromusculaire à optimiser les coordinations musculaires lors du mouvement cyclique réalisé à fréquence maximale. Nous testerons l'hypothèse selon laquelle la vitesse maximale de raccourcissement atteinte par les muscles mono-articulaires au cours du pédalage est inférieure à leur vitesse maximale de raccourcissement intrinsèque. Une hypothèse alternative sera explorée, proposant que des facteurs nerveux tels que la dynamique d'activation (Van Soest et al., 2000), plutôt que la vitesse maximale de raccourcissement, sont des éléments majeurs limitant l'optimisation des coordinations à fréquence très élevée.

## **Thème d'étude 2. Coordinations interindividuelles et « intelligence collective »**

Les dimensions collectives de l'activité et de la performance humaine constituent un sujet d'intérêt majeur répondant à la fois à des enjeux scientifiques de pointe (mieux comprendre les phénomènes d'émergence d'ordre collectif à partir d'interactions interindividuelles locales, et réciproquement ceux de « causalité descendante »), et à des enjeux appliqués dans divers domaines de pratique (organisation et fonctionnement des équipes sportives, de travail, militaires, sportives...) (e.g., Castelfranchi, 1998 ; Hutchins, 1995 ; Pavard, 1994 ; Salas et Fiore, 2004). Cette thématique de recherche connaît un développement d'une grande actualité dans le champ des sciences du sport au niveau international (Cannon-Bowers et Bowers, 2006 ; Eccles et Johnson, 2009 ; Eccles et Tenenbaum, 2004, 2007 ; Bourbousson et al., 2012). Tout d'abord orientées vers des questions de partage de connaissances (ou de référentiel commun) étudié dans des conditions relativement « statiques » et « décontextualisées », les questions les plus vives concernent aujourd'hui la compréhension des phénomènes sociocognitifs et contextuels dynamiques (dans le cours de l'activité collective « en train de se faire » en situation naturelle) responsables de la manifestation d'une « intelligence collective » au sein des équipes sportives (Sève et al., 2009).

Le présent thème d'étude vise à **caractériser les formes de cette intelligence collective, et les processus sous-jacents, chez des équipes expertes** dans deux sports aux caractéristiques originales du point de vue de l'étude de l'activité collective. Notamment, la pratique de l'aviron en équipage et celle du cyclisme sur route par équipe placent toutes deux les coéquipiers dans des situations de visibilité mutuelle différenciées. Ces situations se caractérisent aussi par des « médiations techniques » particulières opérant dans les phénomènes de coordination (médiation mécanique par l'embarcation en aviron, médiation par des moyens de communication à distance – l'oreillette – en cyclisme).

Les investigations empiriques mettront en jeu des approches théoriques et méthodologiques communes, moyennant la conception d'observatoires (dispositifs méthodologiques d'investigations) originaux adaptés aux contraintes de ces deux terrains : l'activité collective sera appréhendée, (a) conjointement en tant que processus d'ajustements et de dynamiques d'interactions interindividuelles, et en tant que totalité produite présentant des propriétés globales particulières, (b) à partir d'une description de la dynamique intrinsèque de l'expérience des acteurs, et à partir de descripteurs objectifs permettant de restituer les dynamiques comportementale et mécanique de l'activité collective.

En cyclisme, il s'agira plus précisément d'étudier les coordinations interindividuelles dans un peloton de coureurs cyclistes experts dans le cadre de courses sur route « en ligne », en contrastant différentes conditions de médiation technologique : avec oreillettes, sans oreillettes (l'interdiction de l'oreillette dans les courses professionnelles est en discussion au sein des instances internationales), et avec des « GPS-orientés-équipe » (qui doivent faire l'objet d'un développement technologique dans le cadre de ce projet). Il s'agira de caractériser les formes d'adaptation collective des coureurs à ces conditions, et de caractériser leur efficacité en termes de production de performances collectives.

En aviron, il s'agira de caractériser les coordinations interindividuelles au sein d'équipages de « Deux de pointe sans barreur » experts, dans diverses conditions de compétition et d'entraînement. L'un des enjeux de cette étude est de modéliser les formes typiques de coordination inter-rameurs, et la dynamique de cette coordination, d'un point de vue intersubjectif (ou de la « cognition collective »), mécanique (évolution de paramètres rendant compte des effets des comportements sur la mécanique et la performance du bateau) et comportemental (détermination de « signatures » de la dynamique du couplage comportemental en mettant en lumière une variable globale résumant la coordination inter rameurs).

## **Axe opérationnel 2. Adaptations et transformations du potentiel de performance**

### **Thème d'étude 3. Construction (développement) des modes de coordination au cours du temps au sein d'« équipes en formation »**

La description de la façon dont la coordination des activités individuelles se transforme au cours du temps pour produire progressivement un collectif plus efficace, plus économique, plus performant, est essentielle, d'un point de vue scientifique et pratique. Cette description peut en effet permettre de comprendre les phénomènes de constitution et de développement de « collectifs apprenants » visant l'optimisation de leurs performances (à la différence de collectifs circonstanciels ou routiniers), et plus généralement les phénomènes « d'individuation collective » (processus historique d'émergence d'un ordre collectif relativement stable au sein d'un groupe) (Simondon, 1989). Cette compréhension est également essentielle pour concevoir des situations et dispositifs d'aides à l'entraînement favorisant ce développement. Or, l'investigation de ces dimensions est actuellement quasi-absente dans la littérature scientifique relative à la performance sportive collective appréhendée sous l'angle des coordinations interindividuelles (Sève et al., 2009).

L'objectif de ce thème d'étude est de « tracer » les évolutions qui traduisent un **apprentissage collectif**, et une transformation « majorante » de l'activité et de la performance collective, ou encore une « individuation collective », dans la période initiale de coopération entre les membres d'un même équipage (en aviron), ou d'une même équipe (en cyclisme). Dans les deux sports, les objets techniques constituent des contraintes et ressources extrinsèques différentes pesant potentiellement sur ces processus.

En cyclisme, il s'agira de décrire et de caractériser les transformations du référentiel partagé au sein d'une équipe cycliste durant la phase compétitive de la saison. Le recueil de données se fera à partir d'une échelle visuelle analogique remplie quotidiennement par les coéquipiers, et renseignant le degré de partage du référentiel pour chaque dyade de coureurs au sein de l'équipe. L'analyse et la modélisation du « réseau » de partage au sein de l'équipe, ainsi que des processus (individuels et collectifs) sous-tendant l'évolution de ce réseau au cours du temps, mettront en jeu une méthode d'analyse des réseaux sociaux (Social Network Analysis) (Wasserman et Faust, 1994).

En aviron, l'étude des transformations de l'activité collective sera conduite dès la formation d'équipages de « Deux de pointe sans barreur » (équipages junior ou senior, féminins et masculins), et durant la saison précompétitive et compétitive en « bateaux courts ». Trois à cinq recueils seront réalisés au cours de cette période, sur un protocole « standardisé » lors d'entraînements (500 m départ arrêté, à cadence de course). L'étude mettra en jeu la même méthodologie que pour le thème d'étude 2 : analyse conjointe des dimensions intersubjectives, comportementales et mécaniques de la coordination.

### **Thème d'étude 4. Dommages musculaires et adaptations de la fonction musculaire**

La recherche d'une performance sportive de haut niveau nécessite le recours à des pratiques d'entraînement qui induisent un stress physiologique et mécanique provoquant à court terme une diminution des performances musculaires, et engendrant à plus long terme un remodelage des composantes contractiles et tendineuses associé à une augmentation des capacités fonctionnelles musculaires. Les sportifs – en aviron comme en cyclisme – mobilisent des pratiques d'entraînement musculaire pouvant engendrer par leur nature (i.e., contraction excentrique) ou par l'intensité des charges utilisées (Gee et al., 2011), des dommages musculaires définis par Armstrong (1984) comme étant des microlésions des fibres musculaires principalement dues à des actions excentriques et associés à des réactions

inflammatoires.

Afin de démontrer la présence de dommages musculaires, de nombreux marqueurs directs (e.g., altérations histologiques) ou indirects peuvent être utilisés. Les plus fréquemment utilisés sont les marqueurs indirects tels que (a) la force maximale volontaire (FMV), i.e. marqueur le plus sensible des dommages induits (Raastadt et al., 2010), (b) l'amplitude articulaire, (c) les douleurs musculaires, (d) les enzymes musculaires telles que la créatine kinase (CK), la troponine I (TnI) ou la lactate déshydrogénase (LDH) et (e) l'épaisseur musculaire (Nosaka, 2011), indicateur de la présence d'un œdème. Il a ainsi été démontré que les contractions excentriques induisaient des dommages musculaires significatifs se manifestant notamment par une diminution de la capacité de production de force, une perte d'amplitude articulaire et une augmentation sensible de la douleur musculaire perçue. Ces altérations se manifestent dans les heures suivant la séance d'entraînement et peuvent perdurer plusieurs jours (> 7 jours) (Nosaka, 2011). Le dosage de la CK (présente uniquement dans les tissus musculaire et cardiaque) est couramment employé pour investiguer des dommages au sein des fibres musculaires car cette enzyme représente un bon indicateur de la perméabilité de la membrane. Or, le manque de sensibilité et de reproductibilité de mesure de l'activité de la CK conduit à considérer avec beaucoup de prudence la variation de ce paramètre biologique. Il n'est en effet pas possible d'évaluer l'étendue des lésions musculaires induites par l'exercice sur la base des seules variations de ce paramètre et surtout de discriminer le type de fibres endommagées (lentes vs. rapides).

Dans un premier temps, notre travail consistera à provoquer des dommages musculaires chez des sujets sportifs et sédentaires en leur imposant des exercices excentriques (Guerrero et al., 2008 ; Prou et al., 1999). Des micro-échantillons (200 µL) de sang artérialisé seront prélevés avant et après l'exercice. Sur la base du protocole décrit par Guerrero et al. (2008), nous mettrons au point la technique d'analyse biochimique par *western blot* qui permettra de quantifier le niveau d'expression de marqueurs des lésions musculaires, tels que des fragments résiduels issus des isoformes lentes et rapides des chaînes lourdes de myosines. Des dosages enzymatiques seront également réalisés pour détecter les variations de la CK avant et après dommages musculaires, pour disposer d'un marqueur de référence. Sur la base de cette approche biochimique, nous chercherons à caractériser également un marqueur biologique témoin de l'altération des tissus conjonctifs et tendineux (i.e., fibres de collagènes). Notre objectif est ensuite de mettre au point, en collaboration avec la plateforme IMPACT de Biogenouest, une approche à plus haut débit, i.e., technique de puces à protéines totales (reverse phase) nécessitant de faibles quantités d'échantillons de sang.

Après cette phase primordiale d'optimisation et de validation méthodologique, nous chercherons, dans un second temps, à quantifier et à caractériser de manière fine les dommages musculaires induits par les pratiques d'entraînement en cyclisme et en aviron. Dans chaque discipline, une séance-type d'entraînement, à haut potentiel traumatisant, sera réalisée et les dommages musculaires induits par ces séances seront évalués avant, après et les jours suivant la séance par l'intermédiaire des marqueurs indirects communément utilisés (e.g., CK, FMV) et de la méthodologie précédemment validée (isoformes de myosine). Ce travail permettra d'optimiser les séances d'entraînement (nature, intensité et volume) programmées dans le cadre de la planification soumise aux rameurs et cyclistes, dans le but d'améliorer et d'optimiser leurs performances sportives.

### **Axe opérationnel 3. Caractérisation et modélisation de gestes cycliques**

#### **Thème d'étude 5. Caractérisation des relations « force-vitesse » des membres inférieurs, supérieurs et du tronc**

L'aviron est une discipline principalement aérobie qui implique de parcourir une distance donnée le plus rapidement possible. Maximiser la vitesse du bateau est alors essentiel à la performance en course (Millward, 1987, Schneider et Hauser, 1981). La vitesse moyenne résulte d'effets combinés de l'effort de propulsion généré par le rameur pour vaincre les forces de traînée agissant sur le bateau (Schneider et Hauser, 1981). Comprendre comment les forces internes et externes agissent au cours du mouvement et comment ces forces affectent la vitesse du bateau est important pour optimiser la performance. Cette production de force est le fruit d'efforts produits par l'ensemble de la chaîne musculaire, nécessitant une coordination complexe entre les muscles des membres inférieurs, le tronc, et les membres supérieurs. De fait, l'étude des (inter)relations entre les capacités physiques musculaires des différents membres revêt un caractère fondamental et appliqué.

Les relations force-vitesse (F-V) et puissance-vitesse (P-V) sont un moyen de caractériser le fonctionnement et la production mécanique des principaux groupes musculaires impliqués dans le mouvement en aviron. La détermination des relations F-V et P-V obtenues au cours de mouvements isocinétiques (réalisés à vitesse constante) ou iso-inertiels (réalisés contre des charges constantes) permet de quantifier l'aptitude du système neuromusculaire à produire des niveaux de force et/ou de puissance élevés. Ces relations apportent des informations sur la compréhension de la performance motrice, l'entraînement et la prévention/rééducation des individus. Depuis les années 1980, plusieurs auteurs ont établi une relation linéaire entre la force et la vitesse, et une relation polynomiale du second ordre entre la puissance et la vitesse lors de mouvements pluri-articulaires (Rambaud et al., 2008 ; Rahmani et al., 2001), et mono-articulaires (Yamaushi et al., 2007 ; Rahmani et al., 1999). L'analyse de ces relations a permis de montrer l'existence de relations entre les paramètres musculaires extrapolés des relations F-V et P-V (i.e., la force isométrique maximale théorique, la vitesse maximale de contraction à vide (sans contraintes extérieures), la puissance maximale ainsi que la vitesse optimale correspondante) et la performance lors de mouvements explosifs des membres inférieurs (Dorel et al., 2005 ; Morin et al., 2011) et/ou supérieurs (Bourdin et al., 2010 ; Durand et al., 2010). A notre connaissance, peu d'études se sont intéressés à la détermination de ces relations. Baudouin et Hawkins (2002) ont étudié le niveau de puissance optimale des muscles extenseurs de la hanche et du genou chez des rameurs. Mais cette étude reste descriptive et ne s'intéressait pas à l'ensemble de la chaîne segmentaire.

La détermination des paramètres mécaniques, issus des profils F-V et P-V, permettra de comparer les différents groupes musculaires et de répondre à une série de questionnements : les profils force-vitesse et puissance-vitesse des différents groupes musculaires impliqués sont-ils identiques – e.g., les groupes musculaires des membres supérieurs, inférieurs et du tronc présentent-ils tous des niveaux de force élevés et supérieurs à des sportifs non spécialistes ? Comment s'articulent les capacités physiques musculaires du tronc dans la chaîne segmentaire mise en œuvre pour réaliser ce geste technique ? Les paramètres mécaniques extrapolés de ces profils force-vitesse sont-ils corrélés entre les différentes parties du corps ? Les athlètes ramant sur le même bateau doivent-ils présenter des capacités physiques musculaires identiques ou complémentaires ? Comment ces paramètres mécaniques évoluent-ils avec la durée de l'effort ? Quels sont les effets de l'entraînement sur ces profils force-vitesse ? Les réponses à ces questions sont d'autant plus intéressantes qu'il semblerait que l'entraînement spécifique de la force chez les rameurs ne soit pas une pratique courante puisque les séances de musculation sont généralement orientées vers des entraînements en

circuit training favorisant le développement de l'endurance de force, et se rapprochant des conditions de compétition. Ces interrogations ont donc un intérêt pratique direct car les réponses permettront d'éclairer les entraîneurs dans leur approche du renforcement musculaire des rameurs afin d'envisager l'intégration d'une nouvelle composante dans ces entraînements.

Dans un premier temps, nous caractériserons les relations F-V et P-V des membres supérieurs, du tronc et des membres inférieurs en déterminant les profils musculaires des rameurs à partir de mouvements traditionnellement utilisés dans les programmes d'entraînement. Ceci nous permettra de comparer les rameurs à d'autres populations (sportifs et sédentaires) et de déterminer si l'aviron est plutôt une discipline de force et/ou de puissance. Dans un second temps, notre travail consistera à étudier les relations entre les membres supérieurs, le tronc et les membres inférieurs afin de compléter l'analyse des capacités physiques musculaires des rameurs et de discuter des résultats en comparaison de la première phase de l'étude. Une meilleure compréhension des profils F-V et P-V du rameur doit nous renseigner sur les paramètres mécaniques/musculaires qui peuvent/doivent être modifiés pour produire une force et/ou une puissance plus efficiente(s). Ceci devrait permettre d'optimiser l'entraînement, et participer à une meilleure prévention des blessures spécifiques à cette pratique sportive. En effet, plusieurs études (Wilson et al., 2010 ; Mackenzie et al., 2008) ont rapporté une incidence significative de la lombalgie chronique chez les rameurs. Celle-ci induit des modifications dans la technique de rame (O'Sullivan et al., 2003). L'entraînement des rameurs se réalise sur de longues sessions sur ergomètre de simulation. Si ce type d'entraînement peut s'avérer efficace, il pourrait favoriser et expliquer en partie les problèmes lombaires (Reid et McNair, 2000). La lombalgie chronique est un thème de recherche développé au sein du laboratoire MIP (site du Mans) depuis plus d'une dizaine d'année, en collaboration avec le Centre de rééducation fonctionnelle de l'Arche. Il sera donc envisagé d'étudier l'impact d'un entraînement en force sur cette pathologie en comparant un groupe de rameurs lombalgiques et un groupe de rameurs indemnes de toutes pathologies. Ceci permettra d'étudier le lien entre de possibles différences de profils F-V entre les deux groupes (en attachant une attention particulière à ce que les deux groupes aient suivi des entraînements similaires). L'étude des profils musculaires des athlètes doit permettre une meilleure adaptation individuelle de leur entraînement en fonction de leurs capacités, et des besoins de la discipline.

Cette étude se fera en collaboration avec les docteurs Jean-Benoit Morin de l'Université de Saint Etienne, et Pierre Samozino de l'Université de Savoie, tous deux membres du Laboratoire de Physiologie de l'Exercice (LPE) - EA 4338 (Université Jean Monnet de Saint-Etienne), et Partenaire 5 du projet.

## **Thème d'étude 6. Modélisation et simulation mécanique et biomécanique d'activités cycliques**

L'optimisation des habiletés motrices associées à l'exécution d'un geste sportif vise à améliorer leur rendement mécanique pour un potentiel physique donné. Cependant, dans le cas de gestes complexes tels que le mouvement d'aviron, ce rendement mécanique ne peut être quantifié expérimentalement, et nécessite le recours à la modélisation et à la simulation. Ainsi, cette partie s'appuiera sur le simulateur GMRS (Global Mechanical Rowing Simulator, Rongère 2011) développé au cours du projet OPERF2A<sup>1</sup>, qui place le présent projet et le consortium en pointe sur le plan international. Aussi sophistiquée que soit la modélisation mécanique, la précision des simulations dépend de la pertinence des modèles utilisés pour

---

<sup>1</sup> Projet régional (Paris scientifiques régionaux) « Optimisation de la performance et interactions Homme-Machine en sport automobile et en aviron » (OPERF2A, 2008-2011).

évaluer les efforts extérieurs appliqués au système. Le présent projet vise à apporter des améliorations cruciales au simulateur au niveau des modèles biomécaniques et hydrodynamiques.

Il est tout d'abord important d'améliorer la cinématique du rameur utilisée dans GMRS, qui se base sur des mesures acquises sur ergomètre et diffère notablement de la cinématique réelle en navigation. Cependant, cette cinématique en navigation n'est pas connue précisément puisque l'approche classique utilisée pour l'analyse biomécanique du mouvement humain en 3D (i.e., identification de la situation des segments dans l'espace) est difficile à utiliser en condition écologique de pratique (Bégon et al., 2009). Cette étude vise donc à développer des algorithmes originaux de reconstruction de la cinématique 3D basés sur des techniques avancées d'optimisation numérique issues de la robotique (Fohanno, 2011) qui permettront de situer les segments sans système d'analyse du mouvement associé à des capteurs placés sur le corps humain (Fohanno et al., 2009 ; Begon et al., 2008). Les cinématiques obtenues associées aux efforts de contact seront ensuite intégrées dans les équations du mouvement afin de calculer par dynamique inverse les efforts articulaires. La cinématique et les efforts articulaires seront confrontés avec l'approche classique sur des bancs d'essais spécialement développés pour valider l'approche originale proposée (Begon et al., 2010). Nous pourrons ensuite, pour la première fois, quantifier la cinématique et les efforts articulaires en navigation en 3D, par exemple pour calculer les puissances produites par les différentes articulations et ainsi mieux comprendre le rôle de chacune. Ces outils devraient donc permettre une meilleure compréhension fondamentale de la performance du rameur. Ils seront également utilisés dans les études visant à analyser les coordinations musculaires chez les rameurs et les cyclistes (cf. Thème d'étude 1).

L'amélioration des modèles physiques de mécanique des fluides intégrés dans GMRS est également fondamentale pour être en mesure de calculer avec précision le rendement mécanique de la propulsion. Pour cela, notre approche consistera à combiner l'exploitation intensive de la simulation numérique avec le logiciel ISIS-CFD développé au laboratoire LHEEA et la technique des plans d'expériences. L'objectif est d'obtenir une modélisation paramétrique des efforts sur les palettes d'aviron et sur les bateaux en prenant en compte tous les paramètres de forme et de fonctionnement instationnaire. Les outils utilisés pour calculer l'écoulement extrêmement complexe de l'eau sur les palettes ont déjà fait l'objet de plusieurs validations expérimentales publiées et en cours (Leroyer et al., 2008, 2010). Le travail de thèse associé à cette étude visera à utiliser les résultats des calculs CFD pour, d'une part, réaliser un modèle physique des efforts de propulsion prenant en compte la forme des palettes, la flexibilité des avirons, les calages angulaires, l'immersion et les caractéristiques instationnaires de leur mouvement, et d'autre part, calculer les efforts sur les carènes de bateau d'aviron en fonctionnement réel selon tous leurs degrés de liberté.

Axe		Thème		Visées scientifiques et techniques innovantes de recherche	Analyse des usages de nouvelles technologies
1	Analyse et optimisation des coordinations motrices	1	Coordinations intermusculaires	Caractériser l'existence et l'intérêt de compensations intermusculaires au cours des tâches cycliques poly-articulaires	Différentes techniques et outils d'entraînement spécifiques et leurs effets sur les coordinations et la performance
		2	Coordinations interindividuelles	Caractériser les formes d'intelligence collective, et les processus sous-jacents, chez des experts	Etude des modalités d'appropriation du GPS-orienté-équipe (cyclisme), et d'une interface « collectif » d'exploitation du système Peach (aviron)
2	Analyse des adaptations et transformations du potentiel de performance au cours du temps	3	Construction (développement) des modes de coordination au cours du temps au sein d'équipes en formation	« Tracer » les évolutions qui traduisent un apprentissage collectif	Caractériser le rôle de la médiation situationnelle (i.e. contraintes technologiques) dans les apprentissages collectifs
		4	Dommages musculaires et adaptation de la fonction musculaire	Validation de la technique d'analyse biochimique à partir de la plateforme IMPACT de Biogenouest	Quantification du niveau d'expression de marqueurs des lésions musculaires induites par les pratiques d'entraînement en cyclisme et aviron
3	Caractérisation et modélisation de gestes cycliques	5	Caractérisation des relations « force-vitesse » des membres inférieurs, supérieurs et du tronc	Caractériser les capacités musculaires des membres inférieurs, supérieurs et du tronc	Analyser les relations entre les différents groupes musculaires afin d'optimiser l'entraînement
		6	Modélisation et simulation mécanique et biomécanique d'activités cycliques	Amélioration des modèles biomécaniques et hydrodynamiques support du simulateur GMRS (développé dans le projet OPER2A) : développer des algorithmes originaux de reconstruction de la cinématique 3D basés sur des techniques avancées d'optimisation numérique issues de la robotique	Analyse des coordinations musculaires chez les rameurs et les cyclistes à partir des outils de modélisation

Tableau synthétique des axes opérationnels et thèmes d'étude du projet ANOPAC