

UNIVERSITÉ DE NANTES



UFR STAPS

Habilitation à Diriger des Recherches

ADAPTATIONS DE LA FONCTION NEUROMUSCULAIRE A L'EXERCICE AIGU ET CHRONIQUE

Soutenue le 13 décembre 2005

ARNAUD GUEVEL

Maître de conférences

LABORATOIRE « MOTRICITE, INTERACTIONS, PERFORMANCE »
JEUNE EQUIPE 2438

ECOLE DOCTORALE « CHIMIE BIOLOGIE » 147

Jury

Jeanick BRISSWALTER, Professeur, Université de Toulon et du Var	rapporteur
Josiane FONTAINE PERUS, Professeur, Université de Nantes	
Pierre GUIHENEUC, Professeur émérite, Université de Nantes	
Patrick LEGROS, Professeur, Université de Nice Sophia Antipolis	rapporteur
Jean François MARINI, Professeur, Université de Nice Sophia Antipolis	
Jacques VAN HOECKE, Professeur, Université de Bourgogne	rapporteur

Remerciements

Mes très sincères et respectueux remerciements aux membres du jury, Madame et Messieurs les Professeurs : Josiane FONTAINE PERUS, Jeanick BRISSWALTER, Pierre GUIHENEUC, Patrick LEGROS, Jean François MARINI, Jacques VAN HOECKE, qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail et qui, au travers de leurs remarques et commentaires, donneront une impulsion à mes travaux futurs.

Mes chaleureux et amicaux remerciements à l'ensemble des collaborateurs (Jean Yves, Emmanuel, Jean François, Christophe, Jean Jacques, Paul, Jeanick, Patrick) avec qui j'ai eu grand plaisir à travailler, expérimenter, ... Qu'ils soient tous convaincus de l'estime que j'ai pour eux et de ma reconnaissance à leur égard en un tel moment. Le travail en équipe aura été, tout au long de mon parcours, une source d'enrichissement. Celui-ci a donné lieu à des rencontres qui, avec le temps, ont pris des (« rides ») formes diverses, et parmi lesquelles je compte des amitiés durables.

Mon attention se dirige aussi, et bien évidemment, vers mes collègues du laboratoire « Motricité, Interactions, Performance » (Christophe, Jacques, Marina, Véronique, Thibault) que je remercie ici avec chaleur et insistance (le faisant sûrement trop peu au quotidien !), pour leur soutien, leur dévouement et leur implication de tous les instants dans la vie du laboratoire et la conduite de nos projets communs. Espérant de tout cœur être et avoir été digne de votre confiance. Encore merci. Mille fois merci à Laurence pour sa patience, sa compréhension, son soutien et l'aide précieuse qu'elle m'offre quotidiennement.

Mes pensées sont aussi dirigées vers mes étudiants et particulièrement Olivier. Ce fût un grand bonheur d'encadrer un étudiant brillant. C'est aujourd'hui un immense plaisir de collaborer avec un collègue antillais ! Mes encouragements à Sébastien et Anthony que j'encadre en thèse actuellement. Leur implication, ténacité et compétence feront d'eux des docteurs prochainement. Mes pensées s'adressent à tous nos étudiants en cours de thèse : Antoine, Alexandre, Delphine, Cécile ; et à Magaly devenue docteur récemment.

Mes tendres remerciements à Laëtitia pour sa patience et son soutien de tous les instants, et à Anaëlle, Gautier et Clément pour le bonheur qu'ils nous procurent et la gaieté qu'ils font régner dans notre foyer.

A mes parents,

A mes amis de Bretagne, de Nantes, de Provence et d'ailleurs...

	Pages
Propos préliminaires	5
Présentation du document	6
Présentation du candidat	7
Statuts professionnels antérieurs	7
Cursus Universitaire	8
Autres formations	8
Parcours de formation et premières expériences professionnelles	9
Activités de recherche	12
Publications	14
Première partie - 1	19
Analyse des manifestations myoélectriques de la fatigue musculaire	
1-1 Effet de la stratégie de mouvement articulaire sur la fatigue musculaire	21
1-2 Prédiction de la capacité de travail en conditions isométrique et mono-segmentaire	23
1-3 Prédiction de la capacité de travail en conditions concentrique et mono-segmentaire	26
1-4 Exploration de la fatigue en conditions pluri-segmentaire, isométrique et dynamique	28
1-5 Analyse des patterns d'activation musculaire en conditions mono-segmentaire, isométrique et concentrique	34
1-6 Perspectives de recherche – Partie 1	36
1-7 Conclusion	40
Seconde partie - 2	41
Adaptations de la fonction neuromusculaire à l'exercice chronique	
2-1 Approche méthodologique pour la comparaison de deux modalités de travail musculaire dynamique	43
2-2 Effet du mode de contraction isotonique vs. isocinétique sur les stratégies d'inhibition et de co-activation musculaires	44
2-3 Effets de deux modes d'entraînement « isotonique » vs. « isocinétique » sur la fonction musculaire	46
2-4 Perspectives de recherche – Partie 2	50
2-5 Adaptation de la fonction musculaire à l'exercice – <i>Travaux antérieurs</i>	54
2-6 Conclusion	65
Troisième partie - 3	67
Etude et caractérisation des sollicitations physiologiques et biomécaniques induites par la pratique de sports nautiques	
3-1 Programme A - Sollicitations physiologiques et <u>Planche à voile Olympique</u>	68
3-2 Programme B - Sollicitations physiologiques et <u>Position de rappel en dériveur</u>	75
3-3 Programme C - Sollicitations physiologiques et <u>Aviron</u>	79
3-4 Conclusion	86

Développements et innovations technologiques	87
Collaborations	88
Activités d'encadrement d'étudiants	89
Participation à des jury de doctorats	91
Contrats et subventions	91
Activités administratives	94
Parcours	94
Directeur de l'UFR STAPS – Université de Nantes	96
Directeur de l'équipe de recherche « Motricité, Interactions, Performance »	96
Implications dans le développement de la recherche	97
Définition et mise en œuvre de la Politique de recherche de l'UFR STAPS	97
Création d'une équipe de recherche	97
Initiateur du premier Colloque « SRPDL »	98
Porteur de projet de création d'un réseau régional « Recherche et Sport »	100
Responsabilités collectives au sein de l'UFR STAPS	101
Responsabilités collectives au sein de l'Université de Nantes	102
Responsabilités collectives au sein de composantes extérieures	102
Activités pédagogiques	103
Parcours	103
Implication dans des activités de conception de formations universitaires	105
Licence STAPS, mention « entraînement sportif »	105
Diplôme d'Université « Préparation physique et mental dans les sports nautiques »	106
Offre de formation 2004 – 2008	107
Responsabilités pédagogiques	111
Bibliographie	112
Annexes	Documents joints
Sommaire - Tome 1 – Publications	118
Sommaire - Tome 2 – Attestations, documents, etc.	120

Propos préliminaire

L'homme est doté d'un potentiel physique lui permettant de se mouvoir, de réaliser différentes actions motrices et de participer à des actes collectifs. Indéniablement, l'homme possède des ressources et capacités mentales élaborées faisant de l'espèce, celle dotée d'une intelligence supérieure sur terre. En revanche, l'homme dispose de ressources et capacités physiologiques et notamment musculaires limitées qui le rendent parfois vulnérable et souvent en quête d'un « dépassement » de ces limites physiques. Dans ce contexte, la fatigue musculaire et la résistance à la fatigue (nommée « capacité d'endurance musculaire ») constituent des facteurs limitant l'acte moteur et plus étroitement la performance sportive. Que ce soit dans la vie courante et notre quotidien, dans la recherche de l'amélioration des performances sportives, ou encore dans la conquête de certains environnements extrêmes voire hostiles (i.e. mers et océans, montagne, altitude et espace, etc.), l'homme cherche les méthodes et moyens d'agir en vue de repousser le moment où la fatigue physique limite sa capacité à produire une action, une activité, une performance, un record. D'autant que la plasticité de ses tissus et fonctions physiologiques permettent à l'être humain de pratiquer de l'exercice physique en vue d'améliorer ses capacités fonctionnelles. Ce questionnement a été une porte d'entrée vers la recherche de réponses, de connaissances nouvelles, la volonté de mettre en œuvre les investigations indispensables pour apporter un éclairage à des problèmes sans solution, bref, celui-ci fût à l'origine des thématiques de recherche que je développe depuis maintenant plusieurs années.

Présentation du document

Le contenu et la structure de ce document vise à attester de ma capacité à diriger et encadrer des recherches dans l'avenir. En conséquence, le contenu n'est pas exhaustif du point de vue des expériences, des travaux réalisés, de la maîtrise de compétences, etc., mais les éléments rapportés, tous réunis et mis en cohérence, devraient faire état d'un savoir-faire en matière de direction scientifique.

Le document est articulé en quatre parties. La *première* présente mon parcours de formation et mes expériences professionnelles antérieures. La *seconde* constitue le corps du document, relate les activités de recherche développées ces dernières années à la lumière des principaux résultats acquis, de la démarche scientifique adoptée, et tente de démontrer une certaine maîtrise scientifique des sujets traités. La *troisième* partie positionne un ensemble d'expériences administratives qui ont été déterminantes dans la construction des compétences acquises au fil du temps. Cette partie vise aussi à montrer le rapport direct de celles-ci avec la direction scientifique de projets et/ou de personnels, et avec le développement de la recherche dans une composante en construction. La *quatrième* partie situe mes expériences, travaux et activités pédagogiques et souligne le rapport étroit qui s'est établi entre les activités de recherche et les actions de transmission de connaissances et savoir-faire.

Des annexes sont associées à ce document. Elles sont organisées en deux tomes regroupant les publications scientifiques parues et des résumés d'actes de congrès (Tome 1), ainsi que des documents apportant des compléments d'information aux lecteurs (Tome 2).

L'ensemble des éléments contenus dans ce document souhaite faire état du « cheminement » et de la somme des productions et réalisations, qui m'ont conduit à présenter cette demande d'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches.

Présentation du candidat

Arnaud GUÉVEL
arnaud.guevel@univ-nantes.fr

situation de famille : marié, 3 enfants

Date et lieu de naissance : 19 août 1967 à Brest

Nationalité : française

Adresse personnelle : 10, rue du Ballet, 44000 Nantes

Numéros de téléphone : 06 30 69 79 20 / 02 51 83 11 43

Maître de conférences à l'UFR STAPS, Université de Nantes

Disciplines : physiologie, biomécanique, sciences et technologie des APS

Nommé le 1^{er} septembre 1998

Section CNU : 74^{ème}

Statuts professionnels antérieurs

- | | |
|-------------|--|
| 1996 – 1998 | Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche à l'Université de Nice Sophia Antipolis |
| 1995 – 1996 | Expert auprès de la Fédération Française de Voile (FFV), en charge de la préparation physique des Equipes de France Olympique (contrat à mi-temps) |
| 1995 – 1996 | Ingénieur au MEDES « Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale – CNES » (contrat à mi-temps) |
| 1992 – 1995 | Allocataire de recherche, Moniteur de l'enseignement supérieur |

- 1997 **Doctorat en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives**, Université de la Méditerranée (Ecole doctorale des Sciences de la vie et de la santé de Marseille)
Titre du mémoire : Evaluation des sollicitations physiologiques en planche à voile Olympique – Incidence des changements réglementaires
Soutenue le 16 juin 1997. Mention très honorable
Jury : Pr. JF Marini (Directeur, Université de Paris X) ; Pr. A Gérard (Rapporteur, Université de Bordeaux I), Pr. P Legros (Rapporteur, Université de Poitiers), Pr. M Laurent (Président du jury, Université de la Méditerranée), G Cazorla MCU (assesseur, Université de Bordeaux II), J Saury (invité, Ecole Nationale de Voile, Fédération Française de Voile)
Annexe T2-1, Diplôme et rapport de soutenance de thèse (1997)
- 1992 **Maîtrise en STAPS**, mention « Administration, Gestion et Animation des institutions sportives ou socio-culturelles » (mention assez bien), Université de Normandie, Caen
- 1992 Service national, Lycée militaire d'Aix en Provence (enseignant en EPS)
- 1991 **DEA en STAPS**, option « Etude du développement musculaire et des adaptations du système neuromusculaire à différents niveaux d'activités » (mention Bien), Université d'Aix-Marseille II
Titre du mémoire : Etude de l'activité électrique du système neuromusculaire lors de contractions isométriques et isocinétiques concentriques maximales. Approche EMGs
- 1990 **Maîtrise en STAPS**, mention « Milieu sportif, développement et perfectionnement physique de haut niveau » (mention Bien), Université d'Aix Marseille II
- 1989 **Licence en STAPS**, mention « entraînement sportif », Université d'Aix Marseille II
- 1988 **DEUG en STAPS**, Université de Caen
- 1985 inscription en première année de **DEUG B**, Université de Bretagne Occidentale (réorientation vers un cursus en STAPS)
- 1985 **Baccalauréat série C** (mathématiques, physique, chimie), Brest

Autres formations

- 1995 **Brevet d'état d'éducateur sportif 3^{ème} degré, spécialité Voile**, Ministère de la Jeunesse et des Sports, INSEP, Paris

Titres des Mémoires :

Formation commune – *Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie en compétition de planche à voile Olympique*

Formation spécifique, étude prospective – *Préparation physique et suivi de l'entraînement en planche à voile Olympique. Etude des sollicitations cardiaques induites par des séquences novatrices d'entraînement*

1990 **Brevet d'état d'éducateur sportif 2^{ème} degré, spécialité Voile**, Ministère de la Jeunesse et des Sports, ENV, Saint Pierre Quiberon

Titre du mémoire : *Analyse des sollicitations physiologiques liées à la pratique de la planche à voile Olympique. Conséquences et perspectives sur l'entraînement*

1988 **Brevet d'état d'éducateur sportif 1^{er} degré, spécialité Voile**, Ministère de la Jeunesse et des Sports, Grandville

Parcours de formation et premières expériences professionnelles

Le baccalauréat obtenu, je me suis orienté vers une première année en DEUG B (sciences de la vie). Ma volonté de m'engager dans un métier de l'enseignement associée à une pratique sportive intensive (planche à voile Olympique – champion de France (série B) en 1985) m'ont amené à me réorienter vers un cursus en STAPS, débuté en 1986 à Caen. A l'issue du DEUG, j'ai demandé un changement d'université en 1988 afin d'intégrer une Licence en STAPS – mention « entraînement sportif » – dispensée à l'université d'Aix Marseille II et ainsi rejoindre une UFR STAPS disposant d'une formation de troisième cycle universitaire. J'ai réalisé les formations de Maîtrise et de DEA dans cette université.

Au cours de l'année de Maîtrise, en avril 1990, mandaté par le Comité International Olympique (CIO) dans le cadre de l'aide au pays en développement pour leur participation aux sports nouvellement inscrits au programme des Jeux Olympiques (JO), j'ai eu l'opportunité d'entraîner l'équipe nationale Djiboutienne de planche à voile. Cette expérience de l'entraînement a largement contribué à fixer mon intérêt sur le domaine de l'entraînement. J'ai obtenu cette même année le BEES 2nd degré en voile, qualification permettant d'exercer des fonctions d'entraîneur et/ou de chef de base nautique. A cette même période (1990), j'ai établi une relation entre le Département Recherche Evaluation (DRE), le Département médical du CREPS d'Aix en Provence et l'équipe de France masculine de planche à voile Olympique (Fédération Française de Voile – FFV), visant le suivi de l'entraînement du potentiel physique des véliplanchistes en cours de préparation des JO de Barcelone en 1992. Dans ce contexte, j'ai pris en charge la conception d'outils d'aide à la préparation physique (planification, programmation et définition de contenus d'entraînement) destinés aux sportifs et à leur

entraîneur (JJ Dubois). La démarche mise en œuvre est partiellement présentée au sein de la référence n°O1 « *L'entraînement physique : programmation et planification. In: J. Saury et J.F. Talon (Eds), L'entraînement de haut niveau en voile* » (annexe T1-O1). J'ai développé cette collaboration jusqu'aux JO de Sydney en 2000. Entre 1992 et 1996, mon action aux côtés des véliplanchistes des équipes de France associait la conception, la programmation de contenus d'entraînement et des interventions lors de stages et compétitions. Sur la préparation Olympique suivante (1996 – 2000), j'ai pris en charge la responsabilité du secteur « Préparation physique » au sein de la préparation Olympique et limité mes interventions sur les « terrains » de stages et compétitions.

J'ai ensuite réalisé ma formation de DEA en 1991 – 1992 et mon premier stage de recherche au sein du DRE du CREPS d'Aix en Provence dont les activités étaient intégrées dans le programme scientifique du groupe de recherche intitulé « Groupe d'étude de la plasticité du système neuromusculaire » de l'UPR CNRS 418 (Marseille) dirigé par JF Marini. Le projet de recherche qui m'a été confié, m'a permis de découvrir un environnement extrême, l'espace, et son incidence sur les involutions du système neuromusculaire exposé à celui-ci. J'ai, dès cette première approche de la recherche scientifique et expérimentale, étudié le fonctionnement musculaire à l'aide de l'analyse de l'activité électrique qui s'en dégage au cours de la contraction musculaire. Je reste attaché à l'utilisation de cette technique non *invasive* d'investigation de la fonction musculaire en activité : l'électromyographie de surface (EMGs).

Au terme de ce diplôme, j'ai réalisé mon service national. J'ai eu l'opportunité d'intégrer le Lycée militaire d'Aix en Provence, affecté sur un poste d'enseignant en éducation physique et sportive (EPS). J'ai eu en charge des classes de secondes, premières et préparatoires aux concours des grandes écoles. Durant mon service national, une convention a été établie entre le DRE du CREPS d'Aix en Provence et le Lycée militaire afin que je puisse travailler au laboratoire et prolonger les travaux de recherche entamés en DEA. De fait, j'ai participé à un programme expérimental nommé « bedrest¹ » conduit par le MEDES (CNES) à l'Hôpital de Purpan à Toulouse, pour lequel j'ai eu la charge de piloter certaines phases de l'expérimentation et de traiter des données. J'ai collaboré activement à la mise en œuvre d'une expérimentation de bedrest dit « lunaire » pour laquelle j'ai participé à la définition du protocole, au traitement des données et à la rédaction du rapport final. Durant cette année, j'ai préparé mon inscription en doctorat et obtenu une allocation de recherche délivrée par le CNES et la région Provence Alpes Côte d'Azur. J'ai également participé au concours d'attribution des allocations de recherche du Ministère de la Recherche et de la Technologie (MRT), organisé par l'UFR STAPS de l'Université d'Aix Marseille II. Classé au premier rang à ce concours, il m'a été proposé d'occuper la fonction de moniteur de l'enseignement supérieur pour une durée de trois ans, contrat qui venait s'adosser à celui d'allocataire de recherche. Mes aspirations professionnelles m'ont conduit à faire le

¹ « bedrest » : situation d'alitement prolongé de sujets humain ; modèle visant à simuler pour l'organisme humain un environnement spatial

choix de ce contrat d'allocataire – moniteur de l'enseignement supérieur. De plus, ce contrat me permettait de réaliser ma thèse sur un projet de recherche en phase avec mes pistes de questionnements et d'interrogations du moment, à savoir la compréhension des sollicitations physiologiques induites par la pratique à haut niveau de la planche à voile olympique, très peu explorées à cette époque.

Je me suis inscrit en thèse en 1992 sur une thématique intitulée « *Evaluation des sollicitations physiologiques en planche à voile Olympique – Incidence des changements réglementaires – Conséquences sur l'entraînement* », alors que la fédération internationale de voile (International Board Sailing Association) venait d'autoriser le « pumping² » (mouvements répétés du gréement) en planche à voile Olympique pour les JO de 1996 à Atlanta.

Parallèlement aux travaux expérimentaux conduits dans le cadre du programme scientifique de thèse, j'ai occupé des fonctions de Préparateur physique auprès des équipes de France hommes et femmes de planche à voile Olympique. Comme ceci a été évoqué ci-avant, cette activité a facilité largement la conduite et réalisation du programme expérimental mené auprès des véliplanchistes des équipes de France. Au terme de mon contrat d'allocataire – moniteur, j'ai été employé à mi-temps (1995 – 1996) pour mener ce type d'action. Fin 1995, j'ai présenté et obtenu le BEES 3^{ème} degré en voile. Cette même année, j'ai eu l'opportunité de réaliser le suivi d'un projet de développement d'un ergomètre pour le MEDES (CNES).

Durant l'année 1996 – 1997, j'ai finalisé ma thèse (rédaction), écrit les articles associés tout en étant employé par l' UFR STAPS de l'Université de Nice Sophia Antipolis comme ATER. J'ai été mis à disposition de l'antenne de Toulon (délocalisation administrative dépendante de Nice) pour couvrir les enseignements de CM, TD, TP en sciences de la vie et biomécanique en DEUG STAPS. Cette expérience fût très enrichissante du point de vue de l'enseignement et de mon intégration dans une composante en construction. J'ai soutenu mon doctorat au terme de cette année universitaire. L'année suivante, mon contrat d'ATER a été reconduit et j'ai réalisé mon service d'enseignement à Nice. J'ai, au cours de cette année, obtenue la qualification au métier de Maître de conférences en 74^{ème} section.

Ce parcours de formation associé à plusieurs expériences professionnelles m'ont ainsi permis de me préparer au métier d'enseignant – chercheur et d'assumer depuis 7 ans, en qualité de Maître de conférences, des activités de recherche, d'enseignements et des tâches administratives, trois composantes indissociables de ce métier.

² mouvements répétés du gréement d'une planche à voile générés par l'activité motrice prioritairement des membres supérieurs

Activités de recherche

Cet exposé suit une organisation en lien avec la structure du programme scientifique du laboratoire « Motricité, Interactions, Performance » (JE 2438) auquel j'appartiens et que je dirige depuis le 1^{er} septembre 2004 (programme scientifique disponible sur notre site : www.univ-nantes.fr/staps/JE-MIP, ainsi qu'en annexe T2-2).

Ce chapitre débute par une liste exhaustive des publications et travaux communiqués issus des activités scientifiques dont il est fait ensuite état au sein de trois parties. Son positionnement en début de chapitre permettra au lecteur de prendre *d'emblés* connaissance de la production scientifique en relation avec les activités de recherche ensuite exposées.

La *première* traite de la fatigue musculaire émergeant de l'exercice aigu et à l'origine d'adaptations de la fonction neuromusculaire. Cette thématique s'inscrit dans le programme scientifique du laboratoire au sein de l'axe « Coordinations musculaires et performance motrice ». La *seconde* recouvre nos travaux sur les adaptations nerveuses et structurales de la fonction neuromusculaire à l'exercice aigu et chronique. Ceux-ci s'inscrivent dans l'axe thématique intitulé « Plasticité musculaire et contraintes chroniques ». La *troisième* partie regroupe l'ensemble des travaux réalisés sur l'étude et la caractérisation des sollicitations physiologiques et biomécaniques induites par la pratique de sports nautiques. Celle-ci ne s'inscrit pas comme telle dans le programme scientifique du laboratoire. Pour autant, un ensemble de travaux anciens et certains menés actuellement méritent ici d'être évoqués, car s'ils induisent une certaine dispersion thématique, ils font toutefois état d'explorations nécessaires pour l'amorce de travaux, notamment lorsque les connaissances scientifiques sur ces activités et les gestes techniques nous sont apparues insuffisantes.

Chaque partie débute par un propos introductif qui positionne la thématique brièvement du point de vue de sa pertinence à l'égard de l'état des connaissances à la période où le travail a été entrepris, et situe ces travaux dans le contexte temporel de mon activité scientifique en général. Elle se poursuit par l'exposé d'un ensemble d'études dont il est fait état succinctement pour les plus anciennes (publiées) et de manière plus développées pour celles récemment achevées et en cours de publication. Ces études sont explicitement mises en cohérence afin de souligner le fil conducteur qui a organisé ces travaux et leur progression. Les résultats principaux sont rapportés ainsi que quelques éléments d'analyse. Le lecteur pourra systématiquement se reporter en annexe pour consulter l'intégralité des connaissances diffusées sous la forme de publications. Les parties intègrent l'énoncé des perspectives de recherche associées à la thématique, illustrées par quelques exemples de projets en cours et/ou envisagés. Le chapitre contient également la liste des étudiants encadrés ces dernières années et dont les travaux réalisés ont ou auraient permis la diffusion de connaissances, ainsi que la liste des collaborations établies avec des équipes de recherche.

Publications

Publications dans des revues internationales indexées

- AI1 Guével A., Maïsetti O., Prou E., Dubois J.J., Marini J.F. Heart rate and blood lactate response during competitive Olympic boardsailing. *Journal of Sport Sciences* 17 : 135-141, 1999
- AI2 Prou E., Guével A., Bénézet P., Marini J.F. Exercise-induced muscle damage : Absence of adaptive effect after a single session of eccentric isokinetic heavy resistance exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 3 : 226-232, 1999
- AI3 Guével A., Hogrel J.Y., Marini J.F. Fatigue of elbow flexors during repeated flexion-extension cycles : effect of movement strategy. *International Journal of Sports Medicine* 21 : 492-498, 2000
- AI4 Maïsetti O., Guével A., Legros P., Hogrel J.Y. SEMG power spectrum changes during a sustained 50 % Maximum Voluntary Isometric Torque do not depend upon the prior knowledge of the exercise duration. *Journal Electromyography Kinesiology* 12 : 103-109, 2002a
- AI5 Maïsetti O., Guével A., Legros P., Hogrel J.Y. Prediction of endurance capacity of quadriceps muscles using surface EMG spectral analysis during voluntary submaximal isometric contraction. *European Journal Applied Physiology* 87 : 509-519, 2002b
- AI6 Remaud A., Cornu C., Guével A. Methodological approach for the comparison between dynamic contractions : influences on the neuromuscular system. *Journal Athletic Training* (in Press), 2005

Publications dans des revues nationales indexées

- AF1 Germain P., Guével A., Hogrel J.Y., Marini J.F. Incidences de la vitesse de mouvement et de l'angle articulaire sur des paramètres électrophysiologiques et biomécaniques lors d'un mouvement d'extension du membre inférieur. *Science et Sports* 11 : 39-45, 1996
- AF2 Maïsetti O., Guével A., Iachkine P., Legros P., Brisswalter J. Le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire, aspects théoriques et propositions méthodologiques pour l'évaluation de la fatigue musculaire associée. *Science et Sports* 17 : 234-246, 2002c

Articles soumis à publication (revues indexées)

- AS1 Remaud A., Guével A., Cornu C. Stratégies d'inhibition et de co-activation musculaires : influences sur la régulation du couple de force développé et adaptations chroniques à l'entraînement en force. *Science et Sports*. Soumis le 30 mai 2005
- AS2 Maïsetti O., Boyas S., Guével A. Specific neuromuscular responses of high skilled laser sailors during a multi-joint posture sustained until exhaustion. *International Journal of Sports Medicine*. Soumis le 18 juillet 2005 [en navette – 4 octobre 2005]
- AS3 Boyas S., Nordez A., Cornu C., Guével A. Power measurements on rowing ergometer : mechanical sensors vs. Concept 2[®] system. *International Journal of Sports Medicine*. Soumis le 3 août 2005 [en navette – 20 septembre 2005]

Articles en cours d'écriture (pour une soumission dans une revue internationale indexée)

- AE1 Cornu C., Farcy S., Remaud A., Guével A. Effects of two normalized strength training modes (isokinetic versus isotonic) on the neuromuscular system. *American Journal of Sports Medicine*. Soumis et refusé ; article en cours de réécriture]
- AE2 Guével A., Nordez A., Boyas S., Cornu C. Characterization of muscular requests of leg extensors during codified training sequences of rowing. *Journal of Sport Sciences*. Soumission programmée le 30 novembre 2005

Communications orales

- C1-1 Germain P., Guével A., Laplanche O., Hogrel J.Y. Apports d'un repositionnement occlusal sur des caractéristiques biomécaniques et électrophysiologiques de muscles extenseurs du membre inférieur : étude clinique. *Congrès National d'Orthodontie. Lyon (France), 1992*
- C1-2 Guével A., Dubois J.J. Préparation physique et suivi de l'entraînement en planche à voile olympique. Démarche conduite sur l'Equipe de France Olympique. *Actes du II^{ème} Colloque des Entraîneurs de Voile*. - FFV Ecole Nationale de Voile (p3-18). *Quiberon, 1993*
- C1-3 Guével A. Les sollicitations neuromusculaires induites par la pratique de disciplines sportives en voile olympique. Approche électromyographique. *Colloque Voile & Médecine. Société de Médecine du Sport de Bretagne, Brest, 1994*
- C1-4 Guével A. Préparation physique et suivi de l'entraînement en planche à voile olympique. Démarche conduite sur l'Equipe de France Olympique. *Colloque Voile & Médecine. Société de Médecine du Sport de Bretagne, Brest, 1994*
- C1-5 Guével A. Rappels des principes fondamentaux en programmation et planification de l'entraînement physique. Comment bâtir et spécifier des contenus. Notions d'évaluation et de suivi de l'entraînement. *Actes du III^{ème} Colloque des Entraîneurs de Voile - FFV Ecole Nationale de Voile (p55-70). Quiberon, 1994*
- C1-6 Guével A., Dubois J.J., Marini J.F. Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie en compétition de planche à voile Olympique. *VI^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Pointe à Pitre (France), 1995*
- C1-7 Prou E., Guével A., Bénézet P., Marini J.F. Effets de deux exercices musculaires isocinétiques excentriques successifs sur les concentrations sériques en fragments de chaînes lourdes de myosine de type I. *VI^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Pointe à Pitre (France), 1995*

- C1-8 Prou E., Guével A., Bénézet P., Marini J.F. Comparison of the effects of three successive bouts of heavy resistance isokinetic exercise on serum type I myosin heavy chain fragment concentrations, serum creatine kinase activities and rate of perceived soreness. *European Muscle Congress, Montpellier (France), 1996*
- C1-9 Guével A. Caractéristiques de force des véliplanchistes de haut niveau et exploration de leur endurance de force. *Entretiens de l'INSEP, Paris (France), 1999*
- C1-10 Maïsetti O., Boyas S., Guével A. Influence du niveau d'expertise sur la fatigue neuromusculaire induite par le maintien d'une tâche pluri-segmentaire sous maximale. *X^{ème} Congrès international de l'ACAPS, Toulouse, 2003*
- C1-11 Boyas S., Maïsetti O., Guével A. Neuromuscular fatigue induced by sustained hiking. *Sailing Sport Science Conference, Toulon, 2004*
- C1-12 Guével A., Nordez A., Boyas S., Guihard V., Cornu C. Characterization of muscular requests of leg extensors during codified training sequences of rowing. *3^{èmes} Journées Internationales des Sciences du Sport, Paris, 2004*
- C1-13 Boyas S., Nordez A., Guével A. Evolution des niveaux d'activation des extenseurs et fléchisseurs de la jambe lors d'un 2000 mètres sur ergomètre d'aviron. *XI^{ème} Congrès international de l'ACAPS, Paris, 2005*
- C1-14 Remaud A., Guével A., Cornu C. Effet du mode de contraction sur les niveaux d'activation et de co-activation musculaire lors de mouvements d'extension du genou. *Forum des Doctorants, Nantes, 2005*
- C1-15 Guével A., Maïsetti O. Le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire – Etat de la question et intérêt pour l'entraînement. *1^{er} colloque Sport et Recherche en Pays de la Loire, Nantes, 2005*

Communications affichées

- C2-1 Germain P., Guével A., Hogrel J.Y., Marini J.F. Etude des régimes de contraction isométrique et concentrique isocinétique de mouvement. Investigations biomécaniques et électrophysiologiques. *Congrès Internationale de l'ACAPS. Lille (France), 1991*
- C2-2 Guével A., Marini JF. Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie induite par une compétition en planche à voile Olympique. *Doctoriales – Ecole doctorale des sciences de la vie et de la santé, Université de la Méditerranée, Marseille, 1994*
- C2-3 Guével A., Prou E., Bénézet P. Déficit unilatéral des muscles extenseurs du genou chez un finnisiste. *VII^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Marseille (France), 1997*
- C2-4 Maïsetti O., Guével A., Hogrel J.Y., Rose I., Legros P. Une approche originale pour l'évaluation EMG de la fatigue musculaire locale en mode de contraction concentrique isocinétique. *IX^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Valence (France), 2001*
- C2-5 Remaud A., Cornu C., Guével A. Responses of the neuromuscular system to isotonic and isokinetic contractions. *Archives of Physiology and Biochemistry 112 (Suppl) : S163 ; XXIX^{ème} Congrès de la Société de Biomécanique, Paris, 2004*
- C2-6 Boyas S., Nordez A., Cornu C., Guével A. Mesures de la puissance sur ergomètre d'aviron : capteurs mécaniques vs. système Concept2[®]. *1^{er} colloque Sport et Recherche en Pays de la Loire, Nantes, 2005*
- C2-7 Remaud A., Guével A., Cornu C. Effet du mode de contraction sur les niveaux d'activation et de co-activation musculaires au cours de mouvements standardisés d'extension du genou : mode isotonique vs. mode isocinétique. *XI^{ème} Congrès International de l'ACAPS, Paris, 2005*

- C2-8 Boyas S., Nordez A., Cornu C., Guével A. Mesures de la puissance sur ergomètre d'aviron : capteurs mécaniques vs. système Concept2®. *XI^{ème} congrès international de l'ACAPS, Paris, 2005*

Mémoires :

- M1 Guével A. (1990). Sollicitations physiologiques inhérentes à la pratique de la planche à voile Olympique. Maîtrise STAPS, Université Aix Marseille II (42p)
- M2 Guével A. (1991). Etude de l'activité électrique du système neuromusculaire lors de contractions isométriques et isocinétiques concentriques maximales. Approche EMG. DEA STAPS, Université Aix Marseille II (31p)
- M3 Guével A. (1990). Analyse des sollicitations physiologiques liées à la pratique de la planche à voile Olympique. Conséquences et perspectives d'entraînement. Brevet d'Etat d'Educateur Sportif IInd degré. Ecole Nationale de Voile. Quiberon (45p)
- M4 Guével A. (1995). Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie en compétition de planche à voile Olympique. *Formation commune*. Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III^{ème} degré. INSEP Paris (65p)
- M5 Guével A. (1995). Préparation physique et suivi de l'entraînement en planche à voile Olympique. Etude des sollicitations cardiaques induites par des séquences novatrices d'entraînement. *Etude prospective Formation spécifique*. Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III^{ème} degré. INSEP Paris (32p)
- M6 Guével A. (1997). Evaluation des sollicitations physiologiques en planche à voile Olympique – Incidences des changements réglementaires – Conséquences sur l'entraînement. Thèse de doctorat en STAPS de l'Université de la Méditerranée, Marseille (259p)

Rapports :

- R1 Germain P., Guével A., Marini J.F. Moon flight and moon station simulation. Extensor and flexor muscles from leg to thigh strength / speed biomechanic's investigation. Rapport interne. Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale - MEDES / CNES - Toulouse, 1992
- R2 Germain P., Guével A., Cariou N., Marini J.F. Evaluation de méthodologies d'exercices musculaires et d'un ergomètre adapté à l'environnement spatial. Rapport interne. Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale - MEDES / CNES - Toulouse, 1992

Ouvrage:

- O1 Guével A. L'entraînement physique: programmation et planification. In: J. Saury et J.F. Talon (Eds), *L'entraînement de haut niveau en voile* (pp41-68), Paris, Édition FFV, 1997

Synthèse quantitative et chronologique des publications

Années	antérieures	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	soumission	
<i>Revue internationale</i>													
Total					2	1		2			1	2	8
<i>Revue française à comité de lecture</i>													
Total		1						1				1	3
<i>Communications orales</i>													
Total	7	1			1				1	2	1		12
<i>Communications affichées</i>													
Total	2		1				1			1	2		6
<i>Autres ouvrages collectifs</i>													
Total			1										1

Analyse des manifestations myoélectriques de la fatigue musculaire comme facteur limitant la performance motrice et prédicteur de la capacité de travail musculaire localisé

*travaux intégrés dans le programme de recherche du laboratoire –
axe thématique : « Coordinations musculaires et performance motrice »*

La performance motrice est limitée dans la durée, de façon variable selon l'intensité de l'exercice physique, par l'apparition de la fatigue. *L'étude de la fatigue musculaire et des conditions de son expression* retient notre intérêt car elle constitue un facteur limitant en sport, comme dans certaines activités professionnelles ou dans des situations de la vie courante.

Notre implication se situe au niveau de la fatigue musculaire, phénomène complexe dépendant des caractéristiques de la tâche motrice exécutée (Enoka et Stuart, 1992 ; Guével et coll., 2000), qui peut être d'origine centrale (nerveuse) ou périphérique (musculaire). Positionnant la performance motrice au cœur de nos réflexions, notre démarche est centrée sur *i*) les mécanismes physiologiques et biomécaniques à l'origine de l'apparition de la fatigue musculaire et ceux qui tendraient à la compenser ou à repousser son moment d'apparition (e.g. stratégies de recrutement inter et intramusculaire pour l'exécution ou le maintien dans le temps d'une tâche motrice) ; *ii*) les conditions dans lesquelles elle survient (caractéristiques de la tâche notamment). Notre approche s'appuie en particulier sur l'utilisation de l'électromyographie de surface (EMGs) comme technique de recueil d'une activité électrique musculaire. Les modifications des paramètres temporels et spectraux issus du traitement du signal EMGs interviennent précocement et avant tout signe mécanique (De Luca, 1984). L'analyse de ces modifications permet d'étudier les origines neuromusculaires de la fatigue et les processus physiologiques particulièrement affectés. Cette méthode d'investigation rencontre certaines

limites dès qu'il s'agit de localiser l'origine de la fatigue. Ainsi, elle est depuis quelques années régulièrement associée à la stimulation électrique percutanée surimposée et/ou l'exploration du métabolisme musculaire par spectroscopie de résonance magnétique (SRM), comme méthodes non *invasives* d'investigation des processus physiologiques impliqués au cours d'une fatigue neuromusculaire. Toutefois, le recueil et le traitement des signaux EMGs en cours de contraction permettrait de prédire la capacité de travail musculaire (T_{lim}) à partir de l'évolution initiale du signal EMGs, de manière plus ou moins pertinente actuellement, selon le régime de contraction associé à l'action motrice étudiée (Maïsetti et coll. 2002a, b). Par exemple, peu de travaux se sont intéressés à cette problématique dans le cadre du régime de contraction concentrique (Kankaanpaa et coll., 1997). Pourtant, ce mode de contraction est mis en jeu dans de nombreuses actions motrices en sport et dans la vie courante. Ainsi, la faisabilité de prédire la capacité de travail musculaire n'a pas été démontrée pour cette modalité de contraction (Maïsetti, 2002). Notre réflexion s'intéresse également à l'influence de la modification des patrons de recrutement des muscles engagés conjointement dans une action motrice qu'elle soit mono- ou pluri-segmentaire. Il s'agit alors de caractériser et/ou modéliser ces patrons de recrutement et leur modification en situation de fatigue musculaire menée jusqu'à épuisement.

Il est admis que les causes et origines de la fatigue musculaire sont dépendantes des caractéristiques de l'exercice. Ainsi, nous avons opté pour l'étude de tâches motrices mono- et pluri-segmentaires, réalisées en régimes de contraction isométrique et dynamique, et à des intensités sous-maximales (50 à 80% de la force maximale volontaire). Les durées d'exercice explorées s'échelonnent ainsi entre 1 et 8 minutes. De plus, notre approche est centrée sur l'étude des évolutions des signaux EMGs. Ainsi, nos investigations, depuis plusieurs années, sont exclusivement basées sur le recueil et l'analyse de l'activité électrique musculaire en cours d'exercice et l'étude des manifestations dynamiques de la fatigue neuromusculaire. Comme le soulignent Millet et Lepers (2004), cette approche reste peu mobilisée dans le cadre des travaux réalisés sur cette problématique.

Ce programme de recherche poursuit les objectifs suivants : (i) étudier les mécanismes physiologiques et biomécaniques explicatifs des manifestations myoélectriques de la fatigue neuromusculaire ; (ii) étudier et caractériser le ou les paramètres EMGs les plus discriminants comme prédicteurs de la capacité de travail musculaire ; (iii) définir les conditions méthodologiques indispensables pour utiliser ces indicateurs prédictifs ; (iv) analyser l'influence des différents régimes de contraction sur la faisabilité à prédire la capacité de travail musculaire à l'aide de paramètres EMGs ; (v) développer des outils innovants d'analyse de la performance motrice.

Cette thématique a pour origine une expérimentation conduite en 1996 sur la caractérisation de la fatigue induite par un exercice musculaire sous maximale dynamique simulant un geste technique répétitif (i.e. pumping) réalisé par les membres supérieurs chez les pratiquants de planche à voile Olympique (Guével et coll., 2000). Cette étude conduite en laboratoire fût précédée par des mesures et analyses menées en situation réelle de pratique sportive (i.e. en navigation). Les résultats obtenus nous ont permis de souligner la nécessité de prolonger ce type d'approche dans un contexte permettant de standardiser les conditions expérimentales et maîtriser un ensemble de variables environnementales, motrices, etc., influant sur la fatigue et notre capacité à la diagnostiquer à l'aide de l'EMG de surface. Les questions physiologiques, biomécaniques et méthodologiques alors soulevées nous ont conduit à fonder cet axe de recherche. Un étudiant, Olivier Maïsetti, a réalisé son doctorat entre 1998 et 2002 sur une thématique intégrée dans ce programme. Un second étudiant, Sébastien Boyas, a débuté sa thèse en 2003 et développe, sous ma direction, des travaux s'inscrivant dans le prolongement de nos activités antérieures.

1-1 Effet de la stratégie de mouvement articulaire sur la fatigue musculaire

La fatigue musculaire est un phénomène complexe dépendant des caractéristiques de la tâche (Enoka et Stuart, 1992). Il s'agissait pour nous d'apprécier l'influence des caractéristiques mécaniques d'un mouvement simple de flexion – extension de l'avant-bras sur le bras, sur la fatigue des principaux muscles fléchisseurs croisant l'articulation du coude. Les deux conditions comparées se différenciaient par la fréquence et l'amplitude articulaire à couvrir à chaque geste de flexion – extension.

Guével A, Hogrel JY, Marini JF
**Fatigue of elbow flexors during repeated flexion-extension cycles :
effect of movement strategy**
International Journal of Sports Medicine 21 : 492-498, 2000
annexe T1-AI3

L'objectif de ce travail consistait à étudier l'effet de la stratégie de mouvement (i.e. caractéristiques dynamiques) sur la fatigue des fléchisseurs du coude induite par des cycles de flexion – extension répétées, dans le but de nous éclairer sur les mécanismes physiologiques à l'origine de la fatigue musculaire lors de l'action de « pumping » en planche à voile olympique. Au delà, cette étude nous a permis d'aborder l'influence des caractéristiques mécaniques d'une tâche motrice bi-segmentaire simple et notamment celle de l'amplitude de mouvement articulaire (i.e. raccourcissement musculaire) et de la fréquence gestuelle (i.e. vitesse de mouvement) sur le degré d'apparition de la fatigue et sa localisation musculaire. Un exercice dynamique était réalisé par six sujets (véliplanchistes

de haut niveau) selon deux modalités d'exécution qui se différencient par l'amplitude et la fréquence des mouvements de traction d'une barre. Les caractéristiques de l'exercice étaient définies afin que les deux modalités d'exercice provoquent un travail mécanique externe égal à tous les instants des tests. Une évaluation isométrique était réalisée avant et après l'exercice dynamique et permettait de quantifier la fatigue musculaire à l'aide de l'analyse des évolutions de paramètres électromyographiques recueillis dans des conditions similaires. L'analyse des paramètres mécaniques (force maximale volontaire, endurance limite) et électromyographiques (paramètres temporel et spectral) souligne l'origine périphérique de la fatigue musculaire qui siège au niveau des *biceps brachii* et *brachioradialis*. Après avoir évoqué les limites de cette étude, les résultats ont été discutés en terme de synergie et de différenciation dans l'activation des muscles étudiés, de localisation de la fatigue et d'influence des caractéristiques de la tâche dynamique (amplitude vs. fréquence) à réaliser. Nous constatons que la fatigue atteint principalement le *biceps brachii* lorsque l'exercice dynamique est d'amplitude élevée et de fréquence faible alors que le *brachioradialis* serait le plus affecté par la fatigue lorsque l'exercice est d'amplitude réduite mais à une fréquence élevée. Cette étude souligne l'importance d'imposer des modalités d'exercice différentes en amplitude gestuelle et en fréquence si l'on souhaite provoquer des adaptations musculaires sélectives sur les différents muscles d'un même groupe. Ces résultats devraient aider à préciser les prescriptions d'activités musculaires dans le cadre de l'entraînement de la force, notamment chez les véliplanchistes.

Cette étude nous a permis de mesurer l'importance de l'influence des caractéristiques mécaniques de la tâche sur l'apparition de la fatigue en certaines régions du système neuromusculaire. Cette première approche, pour notre équipe et moi-même, de l'exploration de la fatigue musculaire par l'analyse des signaux EMGs nous a conduit à engager une réflexion, menée en collaboration avec JY Hogrel, chercheur à l'Institut de Myologie (Association française contre les Myopathies – GH Pitié Salpêtrière), sur le lancement d'un programme de recherche thématique visant d'une part **l'exploration des origines de la fatigue lors de tâches motrices complexes** et empruntées aux activités sportives, et d'autre part la recherche d'une méthode pour la **prédiction de la capacité de travail musculaire** par l'analyse des évolutions précoces des signaux EMGs. Nous avons mis en œuvre cette collaboration scientifique et posé les bases de notre programme de recherche sur ces orientations en 1998.

Nos travaux ont débuté par une **analyse de la bibliographie sur ce thème** et la réalisation d'une méta-analyse visant à quantifier les influences de certaines variables relatives à l'exercice provocateur sur les manifestations myoélectriques de la fatigue. Celle-ci a été menée sur 199 articles en 1998 dont seulement 32 ont pu être intégrés dans cette méta-analyse. Les résultats principaux rapportent que les paramètres root mean square (RMS) – racine carré du signal élevé au carré moyenné

sur une période de temps – et mean power frequency (MPF) – moyenne des puissances des fréquences contenues dans le spectre qui se dégage après transformation du signal – apparaissent comme les plus pertinents pour le suivi des manifestations myoélectriques de la fatigue. Le premier (RMS) témoigne de la quantité électrique totale impulsée par le système nerveux central (SNC). Il est classiquement considéré comme indicateur de la commande nerveuse et notamment du nombre d'unités motrices recrutées et de leur fréquence de décharge. Il constitue une procédure de traitement temporel appliquée au signal EMGs. Le second (MPF) dépend du mode de recrutement et de la durée des potentiels d'action des unités motrices actives. Ce traitement est dit fréquentiel et débute par le calcul de la densité spectrale de puissances contenues dans le signal EMGs par transformée de Fourier. Les évolutions de ces paramètres semblent également indiquer que l'effet de la fatigue sur les modifications du signal augmente avec l'intensité de la contraction et la durée de maintien de la contraction. Les résultats ne montrent pas de différences en fonction du mode d'action (i.e. régime de contraction). En revanche, lorsque les modifications du signal EMGs sont appréciées au cours de l'exercice fatiguant, alors l'effet du régime de contraction dynamique est significativement plus faible qu'en régime de contraction isométrique. La diversité des études et la singularité des protocoles expérimentaux ont rendu complexe la catégorisation, la classification des résultats des études retenues ainsi que le calcul statistique des tailles d'effet des variables étudiées. De fait, la validité de la méthode bibliographique ici utilisée était limitée et les résultats rapportés doivent être considérés avec précaution. Ces limites nous ont conduit à écarter le projet initial de publication de cette étude bibliographique par méta-analyse.

1-2 Prédiction de la capacité de travail en conditions isométrique et mono-segmentaire

Nous avons alors débuté le programme expérimental par étudier l'influence de la connaissance de la durée de l'exercice sur les évolutions des paramètres EMGs. Ceci nous est apparu opportun au regard des connaissances sur ce point à cette période, et de l'importance de cette question dans le cadre de l'exploration de la prédiction de la capacité de travail musculaire par l'analyse des modifications précoces des signaux EMGs. Cette étude a été conduite en situation d'exercice sous-maximale et en condition de réalisation d'une tâche motrice mono-segmentaire. Afin de limiter les influences de certaines grandeurs biomécaniques sur le signal EMGs, nous nous sommes placés en condition isométrique, situation expérimentale permettant de rendre constante la longueur des muscles en contraction et le niveau de force développé, et qui constitue le modèle classique de la relation EMGs – fatigue neuromusculaire (De Luca, 1984). Cette étude devait nous permettre d'apprécier l'influence de la connaissance de la durée d'exercice sur l'évolution des manifestations EMGs de la fatigue neuromusculaire, et ainsi nous permettre de poursuivre nos investigations sur la prédiction de la capacité de travail musculaire à l'aide de leurs évolutions précoces.

Maïsetti O, Guével A, Legros P, Hogrel JY
**SEMG power spectrum changes during a sustained 50 % Maximum Voluntary
Isometric Torque do not depend upon the prior knowledge of the exercise duration**
Journal Electromyography Kinesiology 12 : 103-109, 2002a
annexe T1-AI4

L'endurance limite (Tlim) est un indicateur pertinent de la capacité de résistance à la fatigue. Des études ont rapporté des modifications du signal EMGs estimées sur des durées d'exercice sous-maximal (i.e. inférieures au Tlim) qui permettaient de prédire le Tlim (Badier et coll., 1993, 1994 ; Dolan et coll., 1995 ; Hanayama et coll., 1994 ; Mannion et coll., 1994 ; Mannion et Dolan, 1996 ; van Dieën et coll., 1993, 1998). L'objet de cette étude était de déterminer l'influence possible de la connaissance de la durée sous-maximale d'exercice à maintenir par le sujet, sur la prédiction du Tlim à partir des manifestations EMGs de la fatigue neuromusculaire. Neuf sujets sédentaires ont participé à cette étude. Nous avons comparé les modifications myoélectriques au cours d'un test de fatigue de 30 secondes dont la durée était connue par le sujet avant l'exécution du test, à celles estimées au cours des 30 premières secondes d'une épreuve maintenue jusqu'à épuisement à 50% du couple de force maximal isométrique (MVIT). Nos résultats indiquent des modifications spectrales et temporelles EMGs similaires lors des deux sessions. En conclusion, la stratégie de recrutement des unités motrices au cours d'une épreuve de fatigue isométrique ne semble pas être influencée par la connaissance de la durée d'exercice à maintenir. Ces résultats suggèrent que les modifications précoces des paramètres du signal EMGs (i.e. estimées sur des durées d'effort inférieures au Tlim) peuvent être utilisées pour prédire la capacité de résistance limite à 50% MVIT.

Nous avons engagé un travail (référence AI5) sur la discrimination des paramètres EMGs vis à vis de leur pertinence à prédire la capacité de travail musculaire sur des durées inférieures à Tlim. Cette étude s'inscrivait étroitement dans le prolongement de la précédente, conduite sur une tâche mono-segmentaire sous-maximale en régime de contraction isométrique et visait à montrer l'apport de l'analyse spectrale du signal EMGs dans la prédiction de la capacité de travail musculaire.

Maïsetti O, Guével A, Legros P, Hogrel JY
**Prediction of endurance capacity of quadriceps muscles using surface EMG
spectral analysis during voluntary submaximal isometric contraction**
European Journal Applied Physiology 87 : 509-519, 2002b
annexe T1-AI5

L'endurance limite (Tlim) est une épreuve couramment utilisée pour estimer la capacité à maintenir un niveau de force. La relation entre les manifestations électromyographiques de la fatigue neuromusculaire et le Tlim à 50% MVIT des extenseurs du genou a été étudiée sur 14 sujets sains.

L'objet de cette étude consistait à vérifier la capacité des modifications précoces du signal EMGs (recueilli sur les *vastus lateralis* et *vastus medialis*) à prédire le Tlim. Quelques études en avaient déjà apporté la preuve, à cette période, pour des niveaux de contraction compris entre 20% et 80% MVIT principalement sur les muscles extenseurs du dos (Mannion et Dolan, 1994; Dolan et coll., 1995; van Dieën et coll., 1993, 1998) mais plus rarement pour les muscles des membres tels les extenseurs dorsaux de cheville (Merletti et Roy, 1996) ou encore les fléchisseurs du coude ou de l'épaule (Hagberg, 1981; Hagberg et coll., 1984; Badier et coll., 1993, 1994; Hanayama, 1994). Les modifications des paramètres : *muscle fiber conduction velocity* (MFCV), *mean power frequency* (MPF), *median frequency* (MDF), *root mean square* (RMS), *frequency banding* (FB1 « low » et FB2 « high ») ont été modélisées à l'aide du modèle linéaire (pente) et de l'area ratio (Merletti et coll., 1991) utilisés sur des durées d'exercice sous-maximal.

Dans notre étude, l'endurance limite moyenne était de 78.8 ± 9.5 s. Au cours de la fatigue, nos résultats ont montré que l'augmentation de l'énergie contenue dans la bande de fréquence 6 – 30 Hz mesurée sur les deux chefs musculaires étudiés, était le seul paramètre corrélé au Tlim, même estimé sur les 15 – 30 premières secondes d'exercice. Ceci suggère que les modifications sur les 20 à 40% Tlim (15 – 30 premières secondes) de l'énergie contenue dans les basses fréquences du spectre du signal EMGs peuvent prédire l'endurance limite avant l'apparition de la fatigue mécanique en régime de contraction isométrique. L'utilisation de ces résultats pourraient constituer une perspective intéressante pour des patients à qui l'on ne peut pas imposer de contractions musculaires menées jusqu'à épuisement et pour l'exploration du potentiel musculaire des sportifs soumis régulièrement à de fortes charges d'entraînement.

Nous avons ensuite porté notre intérêt sur le régime de contraction concentrique. En effet, dans la vie courante comme dans les activités sportives, l'essentielle des actions motrices mobilisent ce type de patrons de recrutement musculaire. Toutefois, nous avons débuté nos travaux par la détermination d'un modèle expérimental permettant de maîtriser certaines variables comme la vitesse de mouvement segmentaire, le décours du couple de force en fonction de l'angle articulaire. L'étude à suivre présente un modèle biomécanique destiné à favoriser l'évaluation de signes électromyographiques de la fatigue en régime de contraction dynamique. Contrairement au régime de contraction isométrique, la validité du signal EMGs comme indicateur de la fatigue neuromusculaire est fortement discutée à cause notamment de l'influence de certaines grandeurs biomécaniques propres à ce mode d'action (*i.e.* variation du couple de force sur l'amplitude du mouvement, variation de la localisation des électrodes par rapport aux jonctions neuromusculaires, etc.) qui interagissent avec les effets potentiels de la fatigue sur le signal EMGs. De fait, la variation de ces facteurs constitue une limite à l'étude des manifestations myoélectriques de la fatigue neuromusculaire (Hägg et coll., 2000). Afin de limiter ces influences, nous avons déterminé en phase pré-expérimentale un modèle biomécanique qui permet le contrôle de la relation couple de force – angle articulaire sur toute l'amplitude du mouvement. Après

avoir caractérisé la relation couple de force – angle articulaire lors de contractions isocinétiques concentriques à intensité maximale, nous avons défini un modèle correspondant à une intensité d'exercice sous-maximale.

1-3 Prédiction de la capacité de travail en conditions concentrique et mono-segmentaire

Nous avons réalisé une étude sur la reproductibilité des paramètres mécaniques et électromyographiques en absence de fatigue au cours de la réalisation d'extensions de jambes en contractions isocinétiques concentriques sous-maximales. Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme expérimental de thèse de Maisetti (2002 ; p. 80-103).

Un modèle biomécanique a été déterminé à partir de la relation couple de force – angle articulaire maximale (R_{max}) enregistrées lors de contractions maximales des extenseurs du genou en condition isocinétique concentrique à $90^{\circ}.s^{-1}$ sur l'ergomètre (Biodex system II®). Une relation modélisée était calculée. Elle caractérisait une relation sous-maximale à 60% de R_{max} (R_{submax}) que devait suivre le sujet au cours de la réalisation de répétitions d'extension du genou. L'intérêt de cette procédure était de contrôler l'influence de la variation de la force, de l'angle articulaire et de la vitesse de mouvement sur le signal EMGs. Après un échauffement standardisé de 10 minutes, 8 répétitions maximales ($CONC_{max}$) ont été réalisées avec 60 s de repos (entre chaque répétition) afin de limiter l'apparition de la fatigue. La courbe couple – angle articulaire a ensuite été caractérisée à partir de la moyenne des cinq répétitions maximales. A partir de la relation couple – angle articulaire maximale, nous avons modélisé point par point (1000 Hz) la relation sous-maximale correspondante (figure 1).

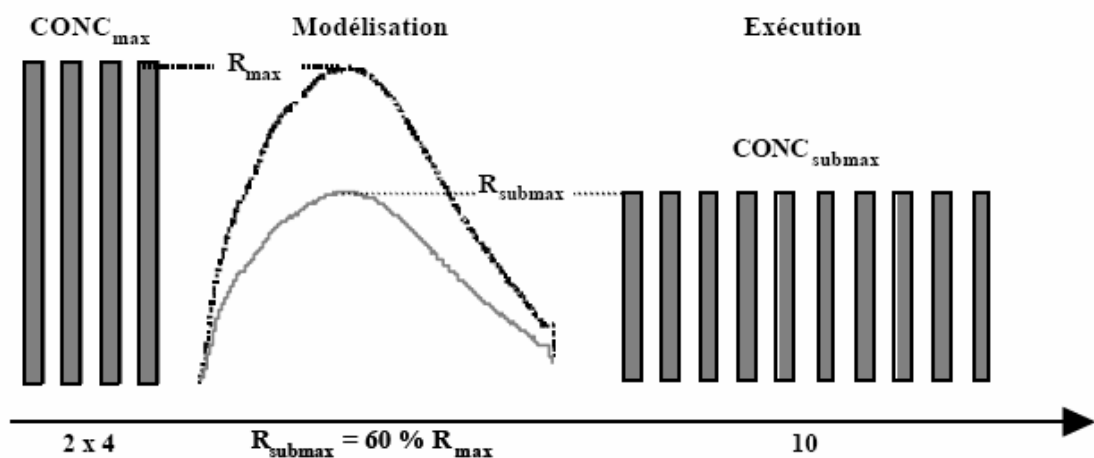


Figure 1 : Procédure expérimentale de détermination des relations couple – angle articulaire maximale (R_{max}) et sous-maximale (R_{submax}).

Après une période de récupération (10 min), les sujets devaient réaliser 10 contractions maximales en reproduisant le plus fidèlement possible le modèle R_{submax} visible sur un écran de contrôle. Le couple de force était simultanément affiché et enregistré pour chaque extension. Nous avons étudié la reproductibilité des paramètres mécaniques (couple de force maximal, angle au pic de couple, couple de force à 15° et $70^\circ - 0^\circ =$ verticale fil à plomb) et électromyographiques (activité électrique des muscles *vastus lateralis*, *vastus medialis*, *rectus femoris*) acquis lors des extensions maximales (R_{max}) et sous-maximales ($60\% R_{\text{max}}$) en absence de fatigue. Les paramètres RMS et MPF ont ensuite été calculés. Neuf sujets sédentaires ont réalisé cette expérimentation. Nos résultats rapportent que les coefficients de corrélation intra-classe (CCI) sont compris entre 0.71 - 0.88 pour les couples de force ; $0.80 < \text{CCI-RMS} < 0.98$; $0.46 < \text{CCI-MPF} < 0.94$ pour les paramètres EMGs, et suggèrent que l'utilisation de cette procédure lors d'épreuves de fatigue pourrait être pertinente. Néanmoins, nos résultats soulignent l'importance de l'angle articulaire dont les effets sur le signal EMGs, en relation avec l'intensité de la contraction et la fonction musculaire, résultent probablement de différences de stratégie de recrutement et d'activation musculaire mais également de l'intervention de facteurs méthodologiques tels que les modifications de la géométrie « muscle – électrode » au cours du mouvement.

Cette étape de validation achevée, nous avons appliqué ce modèle biomécanique à la prédiction de la capacité de travail dynamique des extenseurs du genou estimée lors de l'exécution d'un test de fatigue concentrique isocinétique à intensité sous-maximale. Le contrôle de l'influence de certaines grandeurs biomécaniques (force, angle articulaire, vitesse de mouvement) affectant le signal EMGs permet de penser que les modifications du signal EMGs obtenues devraient refléter principalement les processus d'adaptation du système neuromusculaire à la fatigue et favoriser ainsi la prédiction de la capacité de travail musculaire dynamique des extenseurs du genou. Contrairement au régime de contraction isométrique, la prédiction de la capacité de travail musculaire dynamique par l'analyse des évolutions initiales des caractéristiques du signal EMGs reste peu étudiée. A notre connaissance, une seule étude, réalisée sur les extenseurs du dos, a tenté de prédire la capacité de travail musculaire en régime de contraction dynamique à partir des manifestations myoélectriques de la fatigue neuromusculaire estimées lors des premières répétitions d'une épreuve de fatigue sur dispositif isoinertiel (Kankaanpaa et coll., 1997). L'étude suivante traite de cette problématique et s'inscrit dans le prolongement de celle-ci puisqu'elle pose comme condition protocolaire l'utilisation d'un exercice sous-maximal concentrique isocinétique caractérisé et normalisé sur la base du modèle biomécanique validé précédemment.

L'objet de cette étude consistait à déterminer si les signes EMGs de la fatigue neuromusculaire induite par la répétition jusqu'à épuisement (T_{lim}) de contractions concentriques isocinétiques à intensité sous-maximale constante du *quadriceps femoris* permettaient de prédire la capacité de travail

dynamique des extenseurs du genou (Tlim). Quatorze sujets sains devaient reproduire jusqu'à épuisement la relation couple de force – angle articulaire sous-maximale correspondant à 60% de la relation maximale concentrique isocinétique ($90^{\circ}.s^{-1}$) d'extension du genou. L'intérêt de cette procédure est de contrôler l'influence de la variation de la force, de l'angle articulaire et de la vitesse de mouvement sur le signal EMGs, afin de les dissocier des effets de la fatigue neuromusculaire. Nos résultats montrent une chute de MPF progressive sur le chef bi-articulaire (RF) et plus tardive sur les chefs mono-articulaires (VM et VL). En revanche, la RMS du signal EMGs atteint des valeurs maximales sur les trois chefs musculaires explorés (RF, VM, VL). L'ensemble de ces résultats suggère une fatigue de type périphérique touchant de manière sélective le chef bi-articulaire, probablement en raison des différences de typologie et de fonction musculaire. En dépit d'évolutions linéaires de la RMS et de la MPF des chefs superficiels du *quadriceps femoris*, nos résultats montrent que les pentes de MPF estimées sur le RF lors des 15 – 30 premières secondes d'exercice permettent de prédire partiellement l'endurance limite des extenseurs du genou ($r^2 < 0.5$, $p < 0.05$). Nos résultats soulignent l'influence de l'angle articulaire et du chef musculaire sur l'estimation des manifestations EMGs de la fatigue.

Les résultats de cette étude ont été en partie communiqués lors d'un congrès international, toutefois ils mériteraient une publication dans une revue internationale, tant les travaux sur ce sujet sont peu nombreux. La rédaction de cette communication reste à ce jour inachevée.

C2-4 Maïsetti O., Guével A., Hogrel J.Y., Rose I., Legros P. Une approche originale pour l'évaluation EMG de la fatigue musculaire locale en mode de contraction concentrique isocinétique. *IX^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Valence (France)*, 2001

annexe T1-C2-4

A ce stade, nous avons entrepris une première étude sur une tâche pluri-segmentaire complexe maintenue et sollicitant des chaînes musculaires en régime de contraction isométrique. Nous avons choisi comme tâche un geste technique, le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire, pour lequel nous portions antérieurement un intérêt (cf. partie 3 du chapitre : Activités de recherche). Pour ce faire, nous avons utilisé un ergomètre conçu en collaboration avec le Service Recherche Développement (SRD) de l'Ecole Nationale de Voile (Saint Pierre Quiberon) en 1998. Cet ergomètre est présenté au sein d'une annexe associée à une revue de la littérature que nous avons publié en 2002 dans « *Science et Sports* » (Maïsetti et coll., 2002c).

1-4 Exploration de la fatigue en conditions pluri-segmentaire, isométrique et dynamique

Nous nous sommes attaché à explorer les adaptations neuromusculaires induites par le maintien jusqu'à épuisement d'une tâche multi-segmentaire sous-maximale chez des Laséristes³ de haut niveau et les effets sur la fatigue musculaire induite.

Maïsetti O, Boyas S, Guével A
Specific neuromuscular responses of high skilled laser sailors during a multi-joint posture sustained until exhaustion
International Journal of Sports Medicine. Soumis le 18 juillet 2005

La capacité de résistance à la fatigue et ses manifestations myoélectriques ont été classiquement étudiées au cours de tests sous-maximaux constants (Tlim) impliquant une articulation (Mannion et Dolan, 1996 ; Maisetti et coll., 2002b). Ces études soulignent l'importance du chef musculaire le plus fatigable comme facteur limitant du Tlim. En revanche, peu de travaux se sont intéressés à la fatigue musculaire induite par le maintien d'une activité posturale mettant en jeu plusieurs articulations et groupes musculaires. De plus, le nombre de groupes musculaires impliqués dans une tâche bilatérale semble un facteur limitant la capacité des sujets à activer de manière maximale l'ensemble des muscles mobilisés (Oda et Moritani, 1995). Nous avons choisi d'étudier une tâche complexe. Celle-ci consiste en le maintien de la position de rappel en dériveur (discipline Olympique en voile) qui met en jeu des chaînes musculaires de façon bilatérale. En effet, le régatier en dériveur (*Hiker*) génère, par placement de son corps sur le côté du bateau opposé au plan de voilure, un couple de force nommé couple de rappel (CR) en opposition au couple de chavirage. La vitesse du bateau est fonction de la capacité du *Hiker* à maintenir un couple de rappel élevé et constant dans les vents médium et fort. La fatigue musculaire localisée au niveau des muscles garant du maintien de cette posture serait à l'origine de la baisse d'efficacité du *Hiker* (Vogiatsis et coll., 1996). Cette capacité d'endurance musculaire est spécifique aux *Hikers* (Larsson et coll., 1996). Toutefois, les origines neuromusculaires de cette spécialisation sportive n'ont pas été étudiées. Cette étude avait pour objet d'analyser l'influence du niveau d'expertise sur la fatigue neuromusculaire induite par le maintien de la position de rappel simulée sur un ergomètre. La prédiction de la capacité de travail musculaire à l'aide des évolutions des paramètres EMGs a été analysée à partir des données de cette étude. Toutefois, ces résultats n'ont pas été présentés au sein de la publication soumise à laquelle il est fait ici référence.



Figure 2 : Sujet en position de rappel à 50% max

³ navigateurs pratiquants le Laser, dériveur solitaire support d'une série inscrite au programme des JO depuis 1996

Dix huit sujets masculins volontaires répartis en trois groupes selon leur niveau d'expertise, ont participé à cette expérimentation. 5 sportifs de haut niveau en Laser, 6 spécialistes de voile et 7 étudiants en STAPS, constituaient les groupes *Hikers*, *Sailors* et *Contrôles*. Les tests ont été réalisés sur un banc de mesure du couple de rappel (figure 2), couplé à un feed back visuel des positions articulaires à maintenir strictement durant le test (Maisetti et coll., 2002c). Le couple de rappel maximal (CRmax) était déterminé, puis le test de fatigue consistait à maintenir un CR de $50 \pm 5\%$ du CRmax jusqu'à épuisement (Tlim). L'activité EMGs des muscles *rectus abdominis* (RA), *rectus femoris* (RF), *vastus lateralis* (VL) et *tibialis anterior* (TA) des côtés droit et gauche était enregistrée. Les valeurs RMS et MPF ont été calculées tous les 5% du Tlim et exprimées en % de la valeur maximale (RMS) ou en % de la valeur initiale (MPF). La RMS augmente progressivement jusqu'à l'épuisement pour tous les muscles ($p < 0.001$). L'interaction "groupe \times %Tlim" indique des évolutions différentes de la RMS en fonction du groupe ($p < 0.05$). Chez les *Hikers*, l'augmentation de la RMS n'est significative qu'à partir de 45% du Tlim ($p < 0.05$; figure 2). La RMS à Tlim est significativement inférieure à celle mesurée lors du CRmax pour les 3 groupes (-51.2% RMSmax, $p < 0.001$). Cependant, une interaction entre "groupe \times latéralité \times muscle \times durée" ($p < 0.05$) indique en fin d'effort une variabilité intermusculaire (écart moyen) plus importante pour les *Hikers* (41.1%) et les *Sailors* (33.8%) que pour les sujets *Contrôles* (16.7%). La MPF diminue au cours du maintien de la posture de manière significative uniquement sur les RA et RF ($p < 0.001$) alors que sur les autres chefs musculaires (VL et TA) on observe une tendance à l'augmentation. Cependant, l'interaction des 4 facteurs ($p < 0.001$) indique que la MPF du RA gauche des *Hikers* ne chute pas significativement alors que pour les autres groupes ce paramètre diminue dès les 10 premiers % du Tlim ($p < 0.001$, figure 4). De plus, sur le VL gauche la MPF estimée au cours des 15 derniers % du Tlim augmente pour les *Hikers* alors qu'elle diminue pour les *Contrôles* ($p < 0.05$, figure 4). Cependant, ces divergences ne sont pas constatées pour le côté droit.

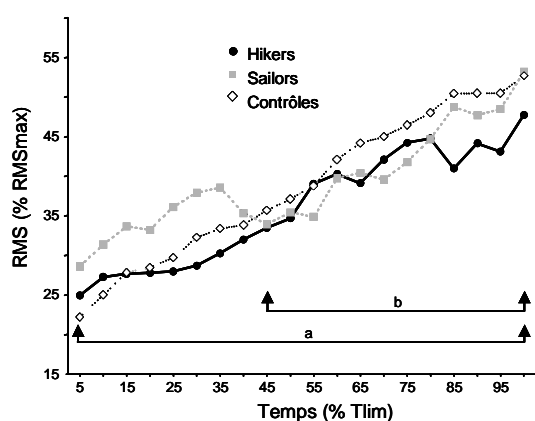


Figure 3 : Évolutions de la RMS moyenne des 8 muscles moyennés pour les 3 groupes. ^a différences significatives ($0.05 < p < 0.001$) des valeurs comprises entre 10 et 100%Tlim par rapport aux valeurs initiales (5%) pour les *Sailors* et *Contrôles*. ^b différences significatives ($0.05 < p < 0.001$) des valeurs comprises entre 45 et 100%Tlim par rapport aux valeurs initiales pour les *Hikers*.

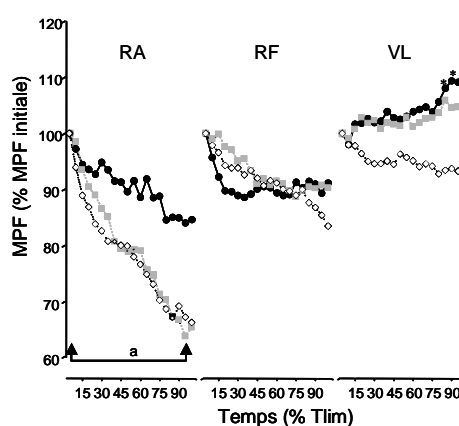


Figure 4 : Évolutions de la MPF des muscles RA, RF et VL gauches pour les 3 populations. ^a $p < 0.001$: différences significatives des valeurs comprises entre 10 et 100%Tlim par rapport aux valeurs initiales pour les *Sailors* et *Contrôles*. * $p < 0.05$: différences significatives entre *Hikers* et *Contrôles* sur les derniers 15% Tlim.

Les sujets experts (*Hikers*) ont une capacité d'endurance supérieure (+ 45%) testée dans des conditions similaires. Au regard des évolutions des paramètres RMS et MPF, cet exercice engendre une fatigue aiguë variable selon le muscle et la population. En dépit de niveaux d'activation proches en fin d'effort (figure 3), les résultats de cette étude suggèrent des stratégies de recrutement intermusculaire différentes selon le niveau d'expertise mises en évidence par (i) une absence d'évolution significative de la RMS en début d'exercice (jusqu'à 45% Tlim) chez les *Hikers* contrairement aux deux autres populations, reflétant un recrutement limité d'unités motrices additionnelles ; (ii) une variabilité du niveau de recrutement intermusculaire en fin d'effort plus marquée chez les *Hikers*. Par conséquent, il est probable que cette spécificité de la modulation de la commande nerveuse (RMS) entre les muscles synergiques observée chez les experts, notamment sur le début de l'effort, retarde l'arrêt de l'exercice (Tlim). En revanche, les signes de fatigue périphérique (chute de MPF) perceptibles exclusivement chez les *Sailors* et les *Contrôles*, et en particulier sur le RA gauche, confortent l'hypothèse du chef musculaire le plus fatigable comme facteur limitant de la capacité de résistance à la fatigue pour ces groupes non spécialistes du maintien de la position de rappel (Maïsetti et coll., 2002c ; Mannion et Dolan, 1996).

Nos résultats (non publiés) ont également montré que les évolutions des paramètres EMGs enregistrés sur des muscles appartenant à des chaînes musculaires bilatérales ne permettent pas de prédire le Tlim. En effet, il semble que la grande variabilité autour des évolutions de ces paramètres soit à l'origine de ce résultat. Toutefois, nous avons engagé récemment des expérimentations complémentaires visant à densifier les populations expérimentales car le nombre réduit de sujets pourrait aussi être à l'origine de ce résultat.

A ce jour, la prédiction de l'endurance limite, par traitement des manifestations myoélectriques précoces n'a été validée qu'en condition isométrique mono-segmentaire (Badier et coll., 1993, 1994 ; Dolan et coll., 1995 ; Mannion et Dolan, 1994, 1996 ; van Dieen et coll., 1993, 1998). Ces travaux constituent donc une base de connaissances notamment méthodologique importante. Toutefois, le mode d'action retenu (i.e. isométrique mono-segmentaire) est peu utilisé dans la vie courante et les activités physiques et sportives. C'est pourquoi, sur la base de cette première étude exploratoire, nous avons décidé en 2003 d'orienter nos travaux sur la prédiction de l'endurance limite des sujets en situation de tâche motrice multi-segmentaire isométrique et mono- et multi-segmentaire dynamique. Notre approche, jusqu'à présent, était exclusivement centrée sur l'analyse des évolutions précoces des signaux EMGs émanant de muscles participant à une même action motrice mais traités isolément. Il nous a semblé que les coordinations inter-musculaires au sein d'un même groupe musculaire ainsi que les coordinations agonistes – antagonistes devaient être prises en compte quelque soit la complexité de la tâche, mais plus particulièrement en conditions dynamique

et multi-segmentaire. En effet, il nous est apparu que la variabilité des paramètres EMGs autour de leur modèle d'évolution pour un muscle, lorsque le niveau de force externe développé reste constant, souligne la nécessité d'étudier conjointement et parallèlement les patrons de recrutement de l'ensemble des muscles (agonistes et antagonistes) participant à l'action motrice. Ainsi, nous supposons que lors d'une contraction fatigante, le système nerveux central modifie sa commande motrice et développe des stratégies de recrutement inter-musculaires variables au fil de la durée de l'épreuve en vue de repousser la fatigue et atteindre une endurance limite élevée. Ces variations, au cours du temps, des patrons de recrutement des muscles engagés dans une même tâche seraient à modéliser. Dans ce contexte, certains auteurs ont montré que la fatigue était susceptible de provoquer un remodelage du programme moteur au niveau des muscles impliqués dans la tâche. Ces études se sont principalement intéressées aux articulations du genou et de l'épaule et ont mis en évidence une réorganisation des coordinations inter-musculaires avec l'apparition de la fatigue. En mode de contraction dynamique, les auteurs rapportent des modifications de la chronologie d'activation des muscles agonistes et antagonistes, et donc des changements de coordination inter-musculaire avec la fatigue, afin de maintenir le niveau d'exigence de la tâche (Arendt-Nielsen et Sinkjaer, 1991 ; Bonnard et coll., 1994 ; Corcos et coll., 2002 ; Gorelick et coll., 2003 ; Hautier et coll., 2000). Les coordinations entre les muscles synergistes évoluent aussi avec la fatigue lors de contractions isométriques. Les études sur ce domaine ont mis en évidence des variations du niveau d'activation entre les synergistes (Hunter et coll., 2003 ; Rochette et coll., 2003) et même, pour des intensités d'exercice faibles, une alternance d'activité entre ces muscles afin de minimiser la fatigue (Kouzaki et coll., 2002 ; Tamaki et coll., 1998). Il semble donc que la prise en considération de ces patrons de coordinations musculaires dans l'analyse des manifestations précoces EMGs de la fatigue musculaire permettrait d'améliorer notre capacité à prédire l'endurance limite.

Dans le prolongement du travail entrepris en situation de tâche multi-segmentaire isométrique au cours du maintien d'une position de rappel en voile, nous avons choisi d'étudier un geste technique multi-segmentaire dynamique réalisée de manière répétitive en aviron. Ainsi, nous avons étudié une tâche consistant à la réalisation d'un 2000 mètres en aviron simulé et analysé l'activation musculaire des extenseurs et fléchisseurs de la jambe.

C1-13 Boyas S., Nordez A., Guével A. Evolution des niveaux d'activation des extenseurs et fléchisseurs de la jambe lors d'un 2000 mètres sur ergomètre d'aviron. *XI^{ème} congrès international de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Paris, 2005*

annexe T1-C1-13

En compétition d'aviron, les rameurs doivent parcourir 2000 mètres en un temps minimal. Cette distance est également réalisée par ces sportifs sur ergomètre d'aviron lors de tests permettant la sélection des équipages nationaux. Les sollicitations physiologiques inhérentes à ce type d'effort ont

été largement explorées (Hagerman, 1984). La puissance développée par le rameur pendant chaque cycle d'aviron est également déterminante pour atteindre les meilleures performances. Ainsi, Parkin et coll. (2001) rapportent chez les rameurs des qualités de force et de puissance supérieures à celles de sujets entraînés de même morphologie. Les extenseurs des jambes participent de manière déterminante à la puissance développée par le rameur (Rodriguez et coll. 1990). De plus, les stratégies de course ont déjà été caractérisées lors d'épreuves sur 2000 mètres (Garland, 2005). Néanmoins, les sollicitations et les stratégies de recrutement musculaire développées au cours de cet effort demeurent inexplorées. Le but de cette étude était d'étudier l'activité des extenseurs et fléchisseurs de la jambe lors d'une tâche pluri-segmentaire dynamique répétitive au cours d'un test maximal de 2000 mètres sur ergomètre d'aviron. Le traitement des signaux EMGs acquis devaient nous permettre *i)* de préciser le niveau d'activation et le rôle de chacun des muscles superficiels croisant l'articulation du genou mobilisés au cours de ce geste, et *ii)* d'exploiter ces données recueillies en cours d'exercice pour mettre au point notre méthodologie de caractérisation des coordinations inter-musculaires (chronologie de mise en action et niveau d'activation) et de leurs évolutions au cours d'un effort maximal de 7 minutes environ.

Huit rameurs pratiquant l'aviron depuis 8 ans et s'entraînant environ 13 heures par semaine ont participé à cette étude. Après échauffement, les sujets réalisaient un départ de 15 coups à allure maximale. Suite à une période de récupération, une épreuve maximale de 2000 mètres était effectuée sur un ergomètre Concept 2[®]. L'activité EMGs des muscles *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM), *rectus femoris* (RF), *semitendinosus* (ST) et *biceps femoris* (BF) était recueillie pour chaque coup du départ maximal et de l'épreuve de 2000 mètres. Les variations de l'angle articulaire du genou étaient obtenues à l'aide d'un électro-goniomètre. En vue de répondre à notre premier objectif (*i)*, les valeurs RMS des signaux EMGs ont été calculées sur la phase d'extension des jambes (pour les 5 muscles) et normalisées par rapport à l'activité électrique maximale (RMSmax) obtenue pendant la même phase lors du départ maximal. Les paramètres mesurés ont été moyennés tous les 100 mètres pour chaque sujet. Les évolutions de ces paramètres ont été étudiées à l'aide d'analyses de variance.

Le niveau d'activation des muscles VL, VM et RF lors de l'extension des jambes au cours d'une course de 2000 mètres est en moyenne de 52.6% RMSmax. Concernant les fléchisseurs, ce niveau d'activité électrique est légèrement inférieur (43.1% RMSmax). L'activation des muscles extenseurs et fléchisseurs des jambes pendant les 200 derniers mètres est significativement supérieure à celle mesurée entre 300 et 1600 m ($p < 0.05$). La puissance et la cadence sont plus élevées ($p < 0.05$) pendant les 100 premiers et derniers mètres. Lors des 100 premiers mètres, l'activation des muscles RF, ST et BF est plus importante ($p < 0.05$) que celle relevée entre 300 et 1600 m de course. Par contre, les niveaux d'activité des muscles VL et VM atteints lors des 100 premiers mètres ne sont pas différents de ceux mesurés au niveau des 1500 mètres suivants.

Nos résultats montrent que lors d'un 2000 mètres les extenseurs de la jambe sont moyennement activés. Cependant, cette activité augmente de façon significative sur la fin de l'exercice. Nous

pouvons supposer que cette élévation de l'activation est due à deux phénomènes : une plus grande sollicitation de ces muscles (la puissance et la cadence augmentant de façon concomitante) et l'apparition d'une fatigue neuromusculaire. Nous observons que la cinétique de l'activation des muscles fléchisseurs suit la même évolution que celles des extenseurs. L'activité des fléchisseurs étant relativement élevée, leur rôle dans la propulsion reste à préciser. Alors que les rameurs à ce niveau adoptent une stratégie de course similaire (Garland, 2005), les variations de recrutement musculaire inter-individuelles semblent importantes. Un traitement en cours sur chacun des cycles d'aviron permettra également de mettre en évidence l'évolution des patterns de recrutement inter-musculaire et ainsi d'analyser les synergies musculaires mises en œuvre au cours du temps sur un exercice concentrique d'une durée de 7 minutes environ. Ce travail, en cours de réalisation, permettra de répondre à notre deuxième objectif (ii).

Les prolongements actuels de ces études sur des tâches pluri-segmentaires isométrique et dynamique nous conduisent à analyser les patterns d'activation musculaire lors d'exercices isométrique ou concentrique sous-maximaux menés jusqu'à épuisement pour une tâche mono-segmentaire d'extension de jambe réalisée par des novices et des experts, en mode isométrique et concentrique. Ces deux études devraient ainsi être engagées au cours du dernier trimestre 2005.

1-5 Analyse des patterns d'activation musculaire en conditions mono-segmentaire, isométrique et concentrique

Les travaux récents se sont intéressés aux évolutions des patterns d'activation musculaire lors d'une extension isométrique du genou menée jusqu'à épuisement et ont rapporté des conclusions différentes. Ebenbichler et coll. (1998) et Rochette et coll. (2003) ont mis en évidence que le système neuromusculaire modulait l'activation des muscles impliqués, principalement au niveau du chef bi-articulaire, le *rectus femoris*. Par contre, Mullany et coll. (2002) indiquent que les trois muscles synergistes superficiels évoluent de façon similaire. Alors que ces études investiguaient des intensités d'exercice proches, il semble que les angles articulaires du genou et de la hanche puissent influencer les résultats obtenus. L'objet de cette étude est d'analyser la variation des patterns d'activation musculaire des extenseurs de la jambe lors d'une contraction isométrique menée jusqu'à épuisement. Nous étudierons également l'influence de l'expertise sur ces patterns.

Seize sujets masculins répartis en deux populations, participeront à cette étude. Huit régatiers pratiquant la position de rappel en voile, sollicitant les extenseurs de la jambe en contraction isométrique, formeront le groupe « experts ». La population « contrôles » sera composée de 8 sujets étudiants en STAPS non entraînés en voile. Après la détermination du couple isométrique maximal

(Cmax), les sujets devront maintenir le plus longtemps possible un couple équivalent à 20% du Cmax. Les sujets seront placés dans une position reproduisant les angles articulaires de la position de rappel, *i.e.* 40° d'extension de genou et 70° d'extension de hanche (0° : extension complète genou et hanche). Un feed-back visuel indiquera en temps réel le couple développé par le sujet et le couple demandé. Le temps maximal pendant lequel les sujets réussiront à maintenir l'extension sera nommé temps limite (Tlim). L'activité électrique des muscles *vastus lateralis*, *vastus medialis*, *rectus femoris*, *semitendinosus* et *biceps femoris* sera enregistrée par EMGs à l'aide d'électrodes active Delsys (modèle DE2.1, Delsys Inc., Boston, MA, USA).

Les évolutions des paramètres du signal électromyographique seront déterminées. Ainsi, la RMS et la MPF seront calculés tous les 1% du Tlim. Le taux d'augmentation de ces deux paramètres permettra de comparer les muscles impliqués dans la tâche et d'observer d'éventuelles variations au niveau du pattern d'activation musculaire. Nous pouvons supposer que le faible degré de complexité de la tâche n'induera que des variations du pattern d'activation musculaire minimales. Cependant, il est possible que l'activité du *rectus femoris* soit différente de celle des chefs mono-articulaires. L'expertise pourrait également faire apparaître des différences d'activation entre les muscles impliqués.

Plusieurs travaux ont montré que le système nerveux est capable de réorganiser la coordination des extenseurs de la jambe avec l'apparition de la fatigue lors d'une tâche dynamique (*e.g.* Hautier et coll., 2000 ; Billaut et coll., 2005). Cependant, certaines études indiquent qu'un unique pattern d'activation musculaire est utilisé lors de sauts verticaux répétés jusqu'à épuisement (Rodacki et coll., 2001, 2002). Le but de ce travail est d'étudier les patterns d'activation des muscles extenseurs de la jambe lors d'extensions (contraction concentrique) réalisées jusqu'à épuisement, et d'analyser l'effet de l'expertise.

Seize sujets masculins répartis en deux populations, participeront à cette étude. 8 régatiers pratiquant l'aviron, sollicitant les extenseurs de la jambe, formeront le groupe « experts ». La population « contrôles » sera composée de 8 sujets étudiants en activités physique et sportive non entraînés en aviron. Après la détermination du couple isométrique maximal (Cmax), les sujets devront réaliser le maximum d'extensions de jambe contre une résistance équivalente à 40% du Cmax. Un mouvement sera effectué toutes les deux secondes (0.5Hz) avec un débattement angulaire de 90°. Le temps maximal pendant lequel les sujets réussiront à effectuer les extensions sera noté temps limite (Tlim). L'activité électrique des muscles *vastus lateralis*, *vastus medialis*, *rectus femoris*, *semitendinosus* et *biceps femoris* sera enregistrée par EMGs à l'aide d'électrodes active Delsys (modèle DE2.1, Delsys Inc., Boston, MA, USA).

Les patterns d'activation seront analysés cycle à cycle à l'aide de plusieurs paramètres. Pour chacun des muscles investigués les moments de début et de fin de bouffée, la durée, l'amplitude et la fréquence de la bouffée seront déterminés puis analysés tout au long de l'exercice. Ainsi, l'évolution

des patterns d'activation au cours de la tâche pourra être déterminée. Il est probable que lors de l'exercice fatigant, l'organisme procède à une modulation des patterns d'activation musculaire des synergistes. Comme indiqué dans la littérature, des périodes d'activation plus longues et plus intenses pourraient apparaître. Le niveau d'expertise devrait également faire émerger des différences au niveau des patterns d'activation dès le début de la tâche, mais aussi illustrer des adaptations à la fatigue différentes selon la population.

1-6 Perspectives de recherche – Partie 1

Le muscle est un producteur de force aux propriétés intrinsèques évolutives au cours de sa mise en action, mais également suite à des exercices chroniques. Notre approche de la fatigue et nos tentatives de prédiction de la capacité de travail musculaire par analyse des évolutions précoces du signal EMGs se sont centrées, jusqu'à présent, sur le comportement des muscles isolément. Pourtant, le travail externe produit lors d'une action motrice est le *résultat de coordinations inter-musculaires* et engage également *l'efficacité de la liaison tendineuse au centre du système musculo – squelettique*. En effet, la production de force au niveau inter-musculaire est transmise au squelette. Cette phase a un rendement variable et dépendant des propriétés viscoélastiques des muscles et des tendons.

PREDICTION DE LA CAPACITE DE TRAVAIL MUSCULAIRE

Nos travaux récents, et ceux à l'état de projets, visent à étudier les patrons de recrutement des muscles engagés dans une action motrice mono- ou pluri-segmentaire d'intensité sous-maximale et leurs évolutions au cours de la fatigue musculaire. Il s'agira de développer et valider une méthodologie permettant de caractériser les durées et intensités d'activation pour chaque muscle au cours du temps ou des répétitions d'un exercice dynamique, mais aussi les interactions entre les différents muscles impliqués, et de modéliser ces patrons de recrutement. Enfin, nous tenterons de définir une approche visant à suivre et comparer les évolutions de ces modèles sous l'effet de la fatigue. Cette approche devra être associée à l'analyse des évolutions précoces des manifestations électriques de la fatigue musculaire afin de mettre en évidence une méthodologie de la prédiction de la capacité de travail musculaire reposant sur l'intégration de ces deux types d'indicateurs.

En effet, je souhaite inscrire résolument la prédiction de la capacité de travail musculaire comme thématique au cœur de mon activité scientifique ces prochaines années. L'objectif visé consiste en la détermination d'une méthodologie permettant, dans des situations standardisées mais proche de conditions d'entraînement ou de la vie courante, de prédire le Tlim à l'aide de l'analyse des signaux EMGs émanant des muscles mobilisés. Pour ce faire, nos préoccupations actuelles sont centrées sur la caractérisation des paramètres EMGs les plus discriminants, l'influence des

caractéristiques de la tâche motrice sur notre capacité à prédire l'endurance limite, les coordinations musculaires et les évolutions des patrons de recrutement musculaire en situation de fatigue. Un ensemble de questions reste aujourd'hui sans réponse et nous constatons en particulier que la complexité de la tâche s'accommode mal avec notre approche actuelle de la prédiction du Tlim. Les travaux à venir seront particulièrement déterminants pour espérer prédire le Tlim en condition pluri-segmentaire et dynamique. En vue d'atteindre cet objectif, un travail de développement technologique sera à terme nécessaire afin d'inventer le système capable de recueillir signaux EMGs, les conditionner, les traiter et enfin les traduire en information perceptible pour le sportif, le patient, l'entraîneur, l'enseignant, le rééducateur, etc. Ce développement technologique pourrait se concevoir en associant des éléments déjà fiabilisés et commercialisés tels que les électrodes sèches (cf. système Delsys, acquis en 2005 et disponible dans notre laboratoire) et un module d'acquisition et de traitement comportant une carte électronique développée spécifiquement pour cet outil. Sur cette seconde phase du projet, il s'agira de travailler en collaboration avec un laboratoire spécialisé dans les développements informatique, électronique et le traitement du signal. L'ultime phase de ce projet consistera à définir des règles méthodologiques et des recommandations protocolaires accompagnant l'utilisation de notre technique d'évaluation de la fatigue musculaire et de prédiction de la capacité de travail musculaire.

ORIGINES DE LA FATIGUE

La performance motrice étant au cœur de nos réflexions, nous prolongerons aussi nos travaux sur l'étude des mécanismes et/ou propriétés physiologiques et biomécaniques perturbées par l'apparition de la fatigue musculaire. Dans ce contexte, nous pourrions par exemple nous intéresser à la caractérisation et à l'évolution des propriétés viscoélastiques du système musculo – tendineux avec la fatigue induite par un exercice sous-maximal. Une étude sur cet axe a été conduite dans notre laboratoire. Elle s'est intéressée à l'évolution de la raideur musculaire localisée au cours d'un exercice isométrique sous-maximal mené jusqu'à épuisement. Il apparaît que la raideur musculo – tendineuse était plus faible suite au protocole de fatigue, et qu'aucune corrélation n'existe entre le niveau d'action musculaire et la raideur musculaire (Nordez et coll., 2005⁴). Par ailleurs, nous prolongerons nos investigations sur les origines physiologiques de la fatigue musculaire qui s'exprime dans certains sports, ou face à certaines actions de la vie quotidienne réalisées, par exemple, par des patients atteints de myopathie, ou encore en situation de lutte contre les incidences négatives d'une exposition prolongée à l'absence de gravité telle que l'espace, sur les capacités fonctionnelles de l'homme. Dans ce contexte particulier, la fatigue musculaire limite les temps d'action lors des travaux à mener notamment au cours des activités extra-véhiculaire, et le diagnostic des origines de cette fatigue

⁴ Nordez A, Cornu C, Casari P, Catheline S. Assessment of muscle hardness changes induced by sub-maximal fatiguing isometric contraction until exhaustion. Soumis au *J. Biomechanics*, 2005

constituerait un bénéfice indirect considérable pour l'astronaute et l'agence spatiale (son employeur). La mise au point de préconisations (i.e. contres mesures) permettant de repousser ou compenser la fatigue pourrait alors être envisagée.

Enfin, la méthodologie de recueil EMGs trouve ses limites en particulier dans l'étude des mécanismes à l'origine de la survenue de la fatigue musculaire. Ainsi, selon le questionnaire qui émergera à certaines étapes de ce programme, nous pourrions avoir recours à des méthodologies complémentaires telles que la spectroscopie de résonance magnétique au phosphore 31 (SRM 31-P), la stimulation électrique nerveuse ou musculaire. Lors de notre étude sur l'effet des caractéristiques du mouvement sur la fatigue induite par un exercice dynamique sur les fléchisseurs du coude (Guével et coll., 2000), nous avons tenté d'engager une collaboration avec l'équipe du Pr. P Cozzone (UMR CNRS 6612 – « Centre de Résonance Magnétique Biologique et Médicale », Faculté de Médecine, Marseille), afin de croiser nos investigations EMGs avec des données relatives au métabolisme musculaire par des mesures de SRM 31-P (Bendahan et coll., 1996⁵). Ce travail n'avait pas pu être mis en œuvre par manque de disponibilité du système SRM 31-P sur la période programmée pour cette expérimentation. Cette approche pourrait venir compléter nos investigations EMGs et en particulier nous éclairer sur certains processus périphériques et musculaires affectés au cours de la fatigue tels que les réserves en substrat, le pH intra-musculaire, etc. Ceux-ci sauraient nous renseigner utilement dans le cadre de l'analyse des évolutions des patrons de recrutement inter-musculaires sous l'effet de la fatigue. Par ailleurs, nous venons d'acquérir au sein du laboratoire les outils permettant de stimuler électriquement le muscle ou le nerf moteur. Ceci nous ouvre des perspectives intéressantes en vue de caractériser les processus affectés par la fatigue et les localiser (centrale vs. périphérique). Nous pourrions par exemple, dans les protocoles à venir et selon les hypothèses avancées, utiliser la technique de stimulation électrique nerveuse (ou musculaire) associée à la capture des signaux EMGs pour acquérir l'onde M (potentiel d'action musculaire résultant), mesurer le rapport entre les couples de forces induits par des stimulations électriques surimposées à des fréquences basses et hautes, ou encore comparer les réponses mécaniques mesurées en situation de stimulation électrique surimposée au muscle contracté maximalement vs. relâché. Ces techniques d'investigation nous permettraient alors de préciser les origines possibles de la fatigue et les processus altérés tels que l'excitabilité membranaire, le couplage excitation – contraction, le déficit de l'activation corticale. Nous pourrions, par exemple, envisager d'étudier les origines de la fatigue musculaire induite lors de la réalisation d'une épreuve de 2000 mètres en aviron. A notre connaissance, ce travail n'a pas encore été mené, alors que cet effort d'une durée de 7 minutes environ est particulièrement intense d'un point de vue aérobie et musculaire. Par ailleurs, les données sur les stratégies de courses rapportent que le dernier quart de la course est mené à une vitesse maximale et supérieure à celle maintenue sur le reste de la

⁵ Bendahan D., Jammes Y., Salvan A.M., Badier M, Confort Gouny S., Guillot C., Cozzone P.J. Combined electromyography-31P magnetic resonance spectroscopy study of human muscle fatigue during static contraction. *Muscle Nerve*, 19(6) : 715-721, 1996

course (Garland, 2005). Ainsi, il serait intéressant d'étudier la localisation (centrale vs. périphérique) de la fatigue induite par cet exercice, et ainsi cerner les processus affectés qui tendraient à limiter le rameur dans sa production de force musculaire intrinsèque et/ou dans le maintien de coordinations inter-musculaires optimales.

REPOUSSER OU COMPENSER LA FATIGUE

Nos réflexions sur l'étude des mécanismes visant à repousser ou compenser la fatigue se prolongeront par l'analyse des patrons de recrutement musculaire déterminés par le système nerveux central lors de la réalisation d'une action motrice. Nous tenterons de définir une approche méthodologique permettant de modéliser les patrons de recrutement inter-musculaires et leurs évolutions lorsque la fatigue musculaire s'installe. Notre réflexion portera aussi sur l'effet de la fatigue sur la co-activation des muscles (extenseurs vs. fléchisseurs) croisant une même articulation. En effet, il semble que la fatigue des muscles impliqués dans une tâche motrice engendre des modifications du pattern de recrutement des muscles antagonistes (Billaut et coll. 2005 ; Hautier et coll. 2000). Cette approche pourra aussi être couplée à d'autres techniques d'investigation permettant, par exemple, de suivre et intégrer certains processus nerveux ou métaboliques et leurs modifications avec la fatigue, tels que l'électroencéphalographie, la stimulation magnétique transcrânienne, la stimulation électrique nerveuse et musculaire, la spectroscopie ou l'imagerie par résonance magnétique, etc. Nous nous intéresserons aussi tout particulièrement à l'effet de l'expertise, de la spécialisation sportive et de l'entraînement chronique musculaire sur la survenue de la fatigue et les mécanismes qui se mettent en place en vue de la repousser ou de la compenser.

DEVELOPPEMENT DE TECHNIQUES ET FINALITES

Le prolongement de ces réflexions nous mènera vers l'élaboration de procédés de tests ayant vocation à identifier l'expression de la fatigue et la diminution de la capacité de travail musculaire. Ici encore, la définition de méthodologies et/ou d'outils d'évaluation pourrait être réalisée pour des sportifs, des patients, ou encore des personnes en situation d'activités professionnelles.

Les finalités appliquées de ce programme de recherche concerne le développement d'une technologie novatrice permettant le suivi de la fatigue musculaire localisée en situation d'évaluation et d'entraînement musculaire (dans des conditions standardisées) afin de doter les sportifs, entraîneurs, rééducateurs et thérapeutes d'éléments objectifs pour apprécier les effets de l'entraînement et adapter les processus d'entraînement. Ce type d'approche pourra être appliqué à l'amélioration des protocoles de rééducation administrés à des patients. Ceci permettrait d'envisager une meilleure rationalisation des méthodes d'entraînement et de rééducation, en relation étroite avec l'optimisation de la performance motrice ou le retour à des capacités fonctionnelles permettant de retrouver une motricité « normale ». Cette perspective d'application sera également investie dans le secteur clinique et en particulier pour l'évaluation fonctionnelle de patients atteints de dégénérescences musculaires

(myopathies). Celle-ci pourra être menée dans le cadre d'une collaboration avec l'Institut de Myologie (AFM, Paris).

1-7 Conclusion

La fatigue musculaire constitue un déterminant de la performance dans bon nombre de sports et un facteur limitant dans certaines activités professionnelles et situations de la vie courante. Nous développons une activité de recherche sur cette thématique depuis sept années. Nous nous attachons particulièrement à décrire ce phénomène physiologique dans le cas de situations motrices sous-maximales d'une durée variant entre 1 et 8 minutes environ. Nous avons principalement démontré la faisabilité de prédire la capacité de travail musculaire en situation mono-segmentaire et isométrique à l'aide de paramètres EMGs. Il est apparu que le paramètre le plus sensible et pertinent pour les caractéristiques de la tâche analysée était « l'énergie contenue dans la bande de fréquence 6 – 30 Hz » (FB1). Par ailleurs, nous avons soulevé un certain nombre de difficultés pour la prédiction de la capacité de travail musculaire dans des situations motrices plus complexes et montré qu'en condition dynamique le seul regard sur les modifications des paramètres EMGs analysées pour chaque muscle isolément ne paraissait pas suffisant pour prédire la capacité de travail musculaire. En conséquence, notre approche actuelle est orientée vers les coordinations inter-musculaires et l'analyse de leurs évolutions avec la fatigue.

Ces travaux ont fait l'objet d'une thèse soutenue en 2002 et de trois articles publiés dans des revues internationales indexées. Un quatrième est actuellement en navette avec la revue *International Journal of Sports Medicine*. Ils ont été menés, entre 1997 et 2002, dans le cadre d'une collaboration avec Jean Yves Hogrel, Docteur et responsable de l'Institut de Myologie (AFM, Pitié Salpêtrière, Paris). Des projets de collaborations pour le futur sont en cours d'élaboration.

Adaptations de la fonction neuromusculaire à l'exercice chronique

*travaux intégrés dans le programme de recherche du laboratoire –
axe thématique : « Plasticité musculaire et contraintes chroniques »*

L'acte moteur est particulièrement dépendant de la contraction musculaire et par conséquent du fonctionnement du système neuromusculaire. Celui-ci possède des caractéristiques physiologiques et biomécaniques évolutives (i.e. plasticité musculaire), résultat de modifications structurales et fonctionnelles des cellules musculaires et des cellules associées d'une part, et d'adaptations nerveuses d'autre part. Cet axe de recherche s'intéresse à l'étude des ***adaptations neuromusculaires induites par des procédés de développement de la force.***

Les méthodes d'entraînement ou de rééducation imposées au sportif ou au patient visent l'amélioration du rendement et/ou de l'efficacité de la fonction musculaire et plus globalement de la performance motrice. Nombreuses sont celles qui n'ont pas fait l'objet d'une validation expérimentale. Notre objectif est alors de répondre à cette interrogation et de préciser les processus physiologiques explicatifs impliqués dans le remodelage protéique et/ou nerveux. La modalité d'exercice musculaire visant à imposer une contrainte mécanique en dynamique à vitesse constante (isocinétisme) est particulièrement utilisée dans le domaine de la rééducation fonctionnelle. La caractéristique principale de ce type de condition d'entraînement consiste à imposer au groupe musculaire mobilisé une contraction maximale sur tout le décours du mouvement segmentaire, réalisée à vitesse constante. Cette contrainte mécanique d'intensité maximale sur toute la longueur de raccourcissement du muscle est une condition que l'on ne rencontre pas dans les situations de mobilisation d'une charge constante, nommée modalité « isotonique ». Ce mode induit une charge maximale imposée au groupe musculaire en activité, aux angles articulaires ouverts et fermés (aux extrémités du débattement articulaire) et sous-maximale sur le reste du débattement articulaire considéré. Notre champ d'investigation portera

ces prochaines années sur *l'étude des adaptations neuromusculaires induites par des procédés d'entraînement de la fonction musculaire en condition « isocinétique » vs. « isotonique » concentrique et excentrique.*

En effet, il apparaît que peu d'études se sont attachées à comparer de manière satisfaisante les effets, sur les propriétés mécaniques des muscles et leur commande, des modes d'entraînement concentrique isocinétique et isotonique. En revanche, ces deux modes d'entraînement ont été largement étudiés isolément. Pourtant, il paraît théoriquement fondé de considérer qu'en fonction des spécificités de chacun de ces modes de travail musculaire et de leur influence sur la mobilisation musculaire, des adaptations neuromusculaires particulières soient induites par chaque modalité. Les études ayant tenté de comparer un entraînement isocinétique et un entraînement isotonique présentent des résultats très différents et contradictoires. Les recherches les plus récentes tendent à montrer une supériorité en terme de gain de force de l'entraînement isotonique sur l'entraînement isocinétique associée à une hypertrophie musculaire plus importante (Kovaleski et coll., 1995 ; O'Hagan et coll., 1995). D'autres travaux (plus anciens) ont obtenu des résultats opposés et montrent que l'entraînement isocinétique est plus efficace que l'entraînement isotonique pour améliorer la force (Pipes et Wilmore, 1975 ; Johnson, 1980). Néanmoins, le travail total réalisé au cours des deux entraînements n'a jamais été égalisé ce qui pourrait expliquer les différences d'adaptation entre les deux modes d'entraînement. Dans ces conditions, il paraît difficile de conclure à la supériorité d'un type d'entraînement sur l'autre pour induire des gains de force. C'est pourquoi, nous nous sommes attachés à mettre en œuvre et valider une méthodologie (Remaud et coll., 2005) permettant d'égaliser le travail externe et la vitesse de mouvement lors des actions motrices prescrites en mode isotonique et isocinétique, afin d'éviter l'écueil souligné ci-avant. De plus, les adaptations des propriétés mécaniques du muscle et des caractéristiques électrophysiologiques consécutives à ces procédures d'entraînement comparées ont été très partiellement étudiées. Enfin, les mécanismes physiologiques à l'origine des adaptations fonctionnelles rapportées restent à mettre en évidence. Nous chercherons donc au cours de ce projet à déterminer la pertinence de l'entraînement isocinétique par rapport à l'entraînement isotonique, compte tenu de la spécificité de ces deux modes d'entraînement, en considérant (1) les adaptations structurales et nerveuses que ces deux types d'entraînement induisent sur le système neuromusculaire et (2) leurs répercussions potentielles sur la rééducation et la performance motrice. A terme, nos travaux devraient permettre d'apporter des réponses et solutions pratiques aux milieux sportif et médical dans le cadre du renforcement musculaire et de la réadaptation puisque dans ces contextes, l'exercice musculaire constitue une contre mesure efficace et classiquement utilisée.

J'ai initié ce programme de recherche en 2001 et proposé à Christophe Cornu de collaborer sur cet axe à l'époque où celui-ci était Maître de conférences à l'Université de Paris XII (Créteil) et développait son activité de recherche à l'Institut de Myologie. Depuis, C. Cornu a obtenu une mutation

à l'UFR STAPS de Nantes et son intégration au sein de notre équipe de recherche a permis de poursuivre et d'intensifier le développement d'activités scientifiques associées à ce programme.

2-1 Approche méthodologique pour la comparaison de deux modalités de travail musculaire dynamique

Remaud A, Cornu C, Guével A

Methodological approach for the comparison between dynamic contractions : influences on the neuromuscular system

Journal Athletic Training (in Press), 2005
annexe T1-AI6

Les études comparant les effets chroniques des deux modes de travail musculaire isotonique (IT) et isocinétique (IK) rapportent des résultats contradictoires, mais aucune ne s'est attachée à égaliser et standardiser les caractéristiques des exercices imposés dans chacune des deux modalités. De fait, il s'avère nécessaire de définir une méthodologie permettant de standardiser les caractéristiques biomécaniques de l'exercice imposé dans chacune des modalités. Nous avons fait le choix du travail externe développé et de la vitesse angulaire de mouvement comme paramètres mécaniques à mesurer, contrôler et standardiser.

Le but de cette étude était de comparer des réponses du système neuromusculaire induites par des contractions isotonique et isocinétique en proposant une méthodologie « originale » permettant d'égaliser la quantité externe de travail exécutée et la vitesse angulaire de mouvement. Après une session de familiarisation, 9 sujets en bonne santé ont exécuté 2 sessions d'exercices sur un dynamomètre de type Biodex[®] (système 3 Pro). La première session a consisté en 3 séries de 8 répétitions isotoniques à 80% de la contraction isotonique volontaire maximale du sujet. La deuxième session a consisté en 3 séries de « n » répétitions isocinétiques à une vitesse fixée sur la base de la vitesse moyenne mesurée sur les séries isotonique pour un même sujet. « n » représente le nombre de répétitions en mode IK réalisé par les sujets afin d'atteindre la quantité externe de travail exécutée pendant la série isotonique correspondante. Des signaux EMGs ont été enregistrés au niveau des muscles *vastus medialis*, *rectus femoris* et *vastus lateralis* pendant les deux sessions. Les paramètres RMS et MPF ainsi que le coefficient d'efficacité neuro-musculaire (NME) ont été calculés. La quantité totale externe de travail et la vitesse angulaire moyenne ont été normalisées pour les séries isotonique ($1185 \pm 215 \text{ J}$; $140 \pm 29^\circ \cdot \text{s}^{-1}$) et isocinétique ($1194 \pm 224 \text{ J}$; $142 \pm 31^\circ \cdot \text{s}^{-1}$) ($p > 0.05$). Nos résultats montrent que le travail mécanique mesuré est identique pour les deux modes de contraction et le nombre de répétitions exigées pour effectuer une quantité identique de travail pendant les sessions isotonique et isocinétique est proche (8 contre 7.8 ± 1.0 respectivement ; $p > 0.05$). En outre, bien qu'aucun « glissement » de la fréquence de puissance moyenne (MPF) ne se soit produit ($p > 0.05$),

l'efficacité neuromusculaire moyenne a diminué linéairement avec les répétitions ($0.83 < r^2 < 0.96$) pour les deux modes. Ceci s'expliqueraient par une élévation de l'activité musculaire caractérisée par une augmentation de la RMS. L'efficacité neuro-musculaire ainsi que les paramètres électrophysiologiques mesurés ne rapportent pas de différences entre les deux modalités d'entraînement.

En conclusion, cette étude souligne l'intérêt de concevoir dorénavant des études comparatives entre ces deux modes de travail musculaire en égalisant la quantité de travail externe développée et la vitesse de mouvement qu'il apparaît possible de standardiser selon cette méthodologie.

2-2 Effet du mode de contraction isotonique vs. isocinétique sur les stratégies d'inhibition et de co-activation musculaires

Remaud A, Guével A, Cornu C

Stratégies d'inhibition et de co-activation musculaires : influences sur la régulation du couple de force développé et adaptations chroniques à l'entraînement en force *Science et Sports*. Soumis le 30 mai [en navette] 2005

En effet, les traitements des données EMGs (non publiés) issues de l'expérimentation présentée dans l'étude de Remaud et coll. (2005), nous ont permis de soulever l'hypothèse selon laquelle les stratégies d'inhibition musculaire et de co-activation antagoniste pouvaient être variables selon la modalité isotonique vs. isocinétique imposée au sujet. La revue de la littérature réalisée et présentée succinctement ci-après a permis de situer l'état des connaissances sur ces processus physiologiques et leur incidence sur la régulation du couple de force.

Cette revue tente d'analyser l'influence des mécanismes de co-activation et d'inhibition musculaire sur le contrôle du couple de force développé et de rendre compte de l'évolution de ces deux processus au cours de la production de la force. Au cours d'une contraction musculaire, le système neuromusculaire met en place des stratégies de co-activation et d'inhibition afin de préserver l'intégrité de l'articulation. Le degré d'implication de ces mécanismes tend à diminuer après un entraînement en force. Les caractéristiques du mouvement influencent considérablement le degré de co-activation et d'inhibition musculaire. Il reste à déterminer l'importance de ces deux mécanismes en fonction du mode de contraction. Un apport de précision et de connaissances supplémentaires sur ces aspects théoriques pourraient permettre indirectement d'améliorer les méthodes d'entraînement et les programmes de rééducation fonctionnelle.

Sur la base de ces travaux et connaissances acquises nous avons développés deux études intégrées dans le programme expérimental de la thèse d'Anthony Remaud. Ce programme est subventionné par l'AFM (Appel d'offre 2005 ; projet porté par C. Cornu). Nous avons tout d'abord

étudié l'effet du mode de contraction (IT vs. IK) sur les niveaux d'activation et de co-activation musculaire lors de mouvements mono-articulaire (étude présentée ci-après), puis analysé les effets comparés des adaptations chroniques de la fonction neuro-musculaire suite à des entraînements menés en mode IT et IK (étude présentée au sein de la partie 2-3).

C2-7 Remaud A., Guével A., Cornu C. Effet du mode de contraction sur les niveaux d'activation et de co-activation musculaires au cours de mouvements standardisés d'extension du genou : mode isotonique vs. mode isocinétique. *XIème Congrès International de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Paris, 2005*

annexe T1-C2-7

Au cours du mouvement, le système neuromusculaire régule le couple de force développé en limitant le niveau d'activation des muscles agonistes et/ou en élevant le niveau de co-activation des muscles antagonistes. Il a déjà été montré qu'un mouvement réalisé en contraction concentrique entraînait une co-activation plus importante des muscles antagonistes, qu'un mouvement réalisé en contraction excentrique (Kellis et Unnithan, 1999). Mais à notre connaissance, aucune étude ne s'est attachée à comparer le niveau de co-activation des muscles antagonistes en condition isotonique (IT) et isocinétique (IK). Ces deux modes de contraction sont pourtant couramment utilisés en rééducation fonctionnelle. Par ailleurs, il semble que pour une même quantité de travail, un mouvement IT entraîne un niveau d'activation des muscles agonistes supérieur à un mouvement IK (Schmitz et Westwood, 2001). Toutefois, la méthodologie utilisée dans cette étude ne permettait pas de standardiser la vitesse de mouvement dans les deux conditions. Le but de notre étude était d'analyser les niveaux d'activation et de co-activation musculaire au cours de mouvements standardisés d'extension du genou en mode IT et IK. Pour cela, nous avons utilisé une méthode basée sur l'égalisation de la quantité de travail et de la vitesse de mouvement (Remaud et coll., 2005).

Après une session de familiarisation, 7 sujets volontaires sains ont réalisé une session de tests sur dynamomètre isocinétique. Les sujets devaient réaliser 3 séries de 8 extensions du genou en mode IT suivies de 3 séries de « n » extensions du genou en mode IK. « n » représentait le nombre d'extensions nécessaire en mode IK, pour effectuer la même quantité de travail externe que lors de la série IT correspondante. La vitesse fixée en mode IK était équivalente à la vitesse moyenne de mouvement calculée lors de la série IT correspondante. L'activité EMGs des muscles *vastus lateralis*, *rectus femoris*, *vastus medialis*, *semitendinosus* et *biceps femoris* était enregistrée.

Les résultats préliminaires n'ont révélé aucune différence entre les modes IT et IK en terme de quantité de travail externe réalisée et de vitesse de mouvement. Les sujets ont réalisé en moyenne 1162 ± 291 J à $151 \pm 24^\circ \cdot s^{-1}$ en mode IT, et 1159 ± 298 J à $151 \pm 26^\circ \cdot s^{-1}$ en mode IK. Le nombre de répétitions réalisées lors des séries en modes IK et IT était similaire. En moyenne, 8.1 ± 0.7 répétitions étaient nécessaire en mode IK pour effectuer la même quantité de travail qu'en mode IT. Concernant les niveaux d'activation et de co-activation, nos résultats n'ont montré aucune différence entre les

deux modes de contraction. Cette étude a permis de confirmer qu'un nombre de répétitions identique était suffisant pour effectuer une même quantité de travail externe en conditions IT et IK, en situation de vitesse de mouvement moyenne égale. Par ailleurs, notre analyse a révélé que les muscles agonistes avaient des niveaux d'activation similaires en mode IT et IK et ce quel que soit le muscle considéré. Ces résultats sont en désaccord avec ceux de Schmitz et Westwood (2001) qui rapportent que le niveau d'activation des muscles agonistes est supérieur en mode IT (vs. IK). D'autre part, notre étude a permis de montrer que les muscles antagonistes avaient des niveaux de co-activation identiques en conditions IT et IK et ce quel que soit le muscle considéré, bien que ceux-ci tendaient vers un degré de co-activation plus faible en mode IK. Des sujets supplémentaires doivent venir compléter notre population afin de conforter ces résultats. De plus, des analyses complémentaires du degré d'activation et de co-activation musculaire en fonction de l'angle articulaire sont en cours de réalisation.

2-3 Effets de deux modes d'entraînement « isotonique » vs. « isocinétique » sur la fonction musculaire

Nous avons réalisé un premier travail comparatif des effets chroniques sur le système neuromusculaire de deux procédés d'entraînement de la force musculaire qui se différenciaient par leur caractéristique « isocinétique » vs. « isotonique ».

Cornu C, Farcy S, Remaud A, Guével A
Effects of two normalized strenght training modes (isokinetic versus isotonic) on the neuromuscular system
American Journal of Sports Medicine, soumis et refusé [en cours de réécriture] 2005

Le but de cette étude était de comparer les effets d'entraînements de force en mode « isotonique » (IT) et « isocinétique » (IK) appliqués sur les extenseurs du genou, au regard des évolutions de paramètres mécaniques et électromyographiques. Deux programmes d'entraînement ont été définis et devaient permettre d'égaliser le travail total externe développé et la vitesse angulaire articulaire moyenne, afin de comparer l'effet de la modalité d'entraînement sur les adaptations neuromusculaires qui pourraient être relevées et consécutives spécifiquement aux deux modes IT et IK. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle les modes d'entraînement comparés (isotonique vs. isocinétique) vont induire des effets différents sur le système neuromusculaire en terme d'adaptations puisque leurs caractéristiques mécaniques sont distinctes. Les deux modalités d'entraînement ont été exécutées sur le même dynamomètre (Biodex[®]) pendant 6 semaines (3 séances par semaine) avec une période de désentraînement de 12 semaines entre les sessions d'entraînement en mode isotonique et isocinétique. Dix sept sujets sédentaires ont participé à l'étude : 5 dans un groupe d'entraînement (TR, n = 5) réalisant les deux sessions d'entraînement, et deux groupes contrôles ont été constitués

pour chacune des périodes d'entraînement (C1, n = 6 et C2, n = 6). L'entraînement isotonique était composé de 3 séries de 8 répétitions d'extension du genou en concentrique à 80% du couple isotonique maximal. L'entraînement isocinétique était composé de 3 séries de « n » répétitions d'extensions du genou à la vitesse moyenne calculée sur l'ensemble des séries isotoniques. La valeur « n » est déterminée par l'atteinte d'un travail externe total équivalent entre les deux modalités d'entraînement (Remaud et coll. 2005). Des paramètres mécaniques (couples de force maximale) et électromyographiques (activité électrique des muscles *vastus lateralis*, *vastus medialis*, *rectus femoris*), ont été mesurés au cours de tests de contractions volontaires maximales dans différents modes d'action (isotonique, isocinétique et isométrique) avant, pendant et après chaque période d'entraînement. Les résultats ont été analysés et comparés statistiquement (t de Student), en vue d'évaluer les effets des deux modes d'entraînement sur les caractéristiques biomécaniques du système musculaire.

Le couple maximal isotonique a augmenté de manière significative de 47.1 ± 21 % ($p < 0.05$) après l'entraînement isotonique tandis qu'il a varié de 8.9 ± 12.3 % après l'entraînement isocinétique. Le couple maximal isocinétique a augmenté suite à l'entraînement isotonique de 6 semaines pour les vitesses de $90^\circ \cdot s^{-1}$ (15.2 ± 10.9 %, $p < 0.05$), $210^\circ \cdot s^{-1}$ (9.9 ± 7.1 %, $p < 0.05$), et suite à l'entraînement isocinétique pour les vitesses de $90^\circ \cdot s^{-1}$ (11.8 ± 7.1 %, $p < 0.05$) et $210^\circ \cdot s^{-1}$ (16.7 ± 9.9 %, $p < 0.05$). La vitesse moyenne calculée lors des séries du programme d'entraînement isotonique se distribuait selon les sujets entre $105.7^\circ \cdot s^{-1}$ et $186.6^\circ \cdot s^{-1}$, et entre $109.1^\circ \cdot s^{-1}$ et $182.9^\circ \cdot s^{-1}$ pour l'entraînement isocinétique. Le couple maximal isométrique a évolué de manière non significative à tous les angles après l'entraînement isotonique tandis qu'il a augmenté aux angles de 110° (14.5 ± 5.8 %, $p < 0.05$), 130° (9.9 ± 5.2 %, $p < 0.05$) et 150° (6.9 ± 4.8 %, $p < 0.05$) après l'entraînement isocinétique. Cependant, le gain de couple isométrique à un angle du genou de 90° était plus élevé après l'entraînement isotonique ($+11.9 \pm 13.6$ %) que suite à l'entraînement isocinétique ($+1.2 \pm 5.8$ %). Enfin, il y avait une augmentation significative de la RMS moyenne après l'entraînement isotonique à $210^\circ \cdot s^{-1}$ (11.7 %, $p < 0.01$), tandis que pour les autres conditions l'activité musculaire n'était pas différente selon le mode d'entraînement.

En conclusion, les deux modalités d'entraînement de la force musculaire ici comparées ont induit des gains de couple après 6 semaines d'entraînement. Toutefois, des différences apparaissent en terme de gains de couple de force selon les conditions expérimentales de tests. Ces différences peuvent être expliquées par la spécificité de chacun des modes d'entraînement (notamment du point de vue de leurs caractéristiques mécaniques et musculaires) mais aussi par le rapport étroit déjà rapporté qui existent entre les conditions de tests pour quantifier et objectiver des gains de couple de force et la modalité d'entraînement. En effet, les améliorations les plus élevées sont généralement obtenues lorsque les modalités de tests (i.e. mode d'action : isotonique, isocinétique) sont identiques au mode d'entraînement (Smith et Melton, 1981). C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous avons retenu une modalité de test isométrique, régime de contraction non mobilisé lors des sessions d'entraînement.

Enfin, les gains de couple de force ont été attribués à des adaptations nerveuses, toutefois des adaptations structurales et touchant les cellules musculaires ne peuvent pas être exclues, mais les paramètres et techniques d'investigation retenus pour explorer les effets de ces deux modes d'entraînement ne nous permettaient pas de caractériser les modifications musculaires structurales. Dans l'avenir, nos travaux pourraient intégrer ce type de préoccupations.

Sur la base des remarques et critiques formulées à l'étude précédente par les experts de la revue *American Journal of Sports Medicine*, nous avons relancé une expérimentation visant à analyser les effets chroniques d'entraînements en mode isocinétique vs. isotonique sur les adaptations neuromusculaires, les gains de force et les évolutions de l'architecture musculaire. Cette étude s'inscrit donc dans le prolongement de la précédente qui méritait d'être poursuivie. Ainsi, nous porterons notre intérêt sur les adaptations musculaires nerveuses (niveaux d'activation et de co-activation, inhibition musculaire) et structurales consécutives à ces deux modalités d'entraînement imposées à des sujets sédentaires entraînés durant 8 semaines. Les contours de cette étude sont présentés ci-après. Elle doit se dérouler au cours du dernier semestre 2005.

Il s'agira ici d'analyser les adaptations neuromusculaires induites par deux modalités d'entraînement isotonique (IT) vs. isocinétique (IK) construit sur la base de mouvements d'extension de la jambe, en termes de :

- gains de couple de force à travers l'évolution des relations couple-angle et couple-vitesse angulaire ;
- modifications des stratégies d'activation des muscles agonistes et de co-activation des muscles antagonistes ;
- modifications dans l'architecture du muscle au moyen d'échographies musculaires.

Les deux programmes d'entraînement seront standardisés en terme de quantité de travail et de vitesse de mouvement afin de pouvoir comparer leurs effets. La population expérimentale sera composée de 3 groupes de sujets non soumis à un programme de développement de leur force musculaire et réparti comme suit : groupe IT (n = 10), groupe IK (n = 10), groupe contrôle (n = 10) – sans entraînement. Les entraînements concerneront les groupes IT et IK à raison de 3 séances par semaine durant 8 semaines. Des tests visant à caractériser les paramètres mécaniques et physiologiques évoqués précédemment seront programmés selon 4 sessions – session 1 : post-entraînement, session 2 : à la fin de la 4^{ème} semaine d'entraînement, session 3 : à la fin de l'entraînement, et session 4 : suite à 4 semaines de repos. Les entraînements débuteront par un échauffement sur ergocycle, puis 3 séries de 8 répétitions à 40 % du couple maximal isométrique en mode isotonique et 3 séries de « n » répétitions en mode isocinétique avec la quantité de travail et la vitesse qui devront être équivalentes à l'entraînement isotonique correspondant. Les caractéristiques des entraînements ont été définies en se référant aux recommandations de Kraemer et coll. (2002). Des tests visant à caractériser les effets des

entraînements proposés seront menés selon 3 modalités IT, IK et isométrique. Les résultats attendus devraient permettre de répondre aux hypothèses avancées.

D'un point de vue structurale, une modification de l'angle de pennation des fibres musculaires entraînées et une hypertrophie musculaire devraient apparaître suite aux 8 semaines d'entraînement et pour les deux modalités de manière indifférenciée. Les données rapportées par Kawakami et coll. (1993) sur des sportifs entraînés et des sujets non-entraînés, ainsi que celles avancées par Aagaard et coll. (2001) suite aux effets de 14 semaines d'entraînement à charges lourdes sur le *vastus lateralis* confortent notre hypothèse. Ces investigations sont à présent possibles au sein de notre laboratoire et nous ouvrent ainsi certaines pistes de questionnements sur l'architecture musculaire, sa plasticité et son influence sur la production de force. Sur le plan nerveux, nous pensons qu'une évolution des stratégies d'activation et de co-activation spécifique à chacun des 2 modes de contraction devrait se révéler. En effet, l'entraînement de force semble diminuer la co-activation des muscles antagonistes et augmenter l'activation des muscles agonistes (Carolan et Cafarelli, 1992 ; Häkkinen et coll., 1998). Ainsi, nous ferons l'acquisition des niveaux d'activation des muscles *vastus lateralis*, *vastus medialis*, *rectus femoris*, et *semitendinosus*, *biceps femoris*, et nous procéderons au calcul des valeurs RMS sur les signaux EMGs enregistrés afin d'analyser les évolutions quantitatives de débit d'activité électrique en lien avec des contractions maximales et volontaires. Par ailleurs, nous tenterons de vérifier qu'il y a une diminution du niveau d'inhibition musculaire suite à un entraînement de force sur 8 semaines quelque soit la modalité d'entraînement. En effet, il semble que l'entraînement de force induise une amélioration de la capacité à recruter un plus grand nombre d'unités motrices de manière synchrone (Häkkinen et coll., 1998). Aussi l'amplitude de l'onde V provoquée par la stimulation électrique du muscle *soleus* est plus élevée après 14 semaines d'entraînement en force, ceci traduirait une facilitation de l'activation d'un nombre plus important de motoneurones α (Aagaard et coll., 2002). En vue de vérifier cette hypothèse nous avons acquis le matériel et la méthodologie permettant de réaliser des tests avec une stimulation électrique du nerf moteur imposée, ici le nerf fémoral, en situation de contraction musculaire et de relâchement. Enfin, les gains en terme de production de force, traduisant des adaptations d'origine nerveuse et structurale, seront évalués selon 3 modalités. Le mode isométrique est retenu pour sa neutralité vis à vis des conditions d'entraînement. Sur la base de nos travaux antérieurs, nous nous attendons à ce que :

- l'entraînement IT induise des gains de couple en isotonique et isométrique aux angles extrêmes supérieurs à l'entraînement IK ;
- l'entraînement IK induise des gains de couple en isométrique aux angles intermédiaires et en isocinétique sur une large amplitude de mouvement supérieurs à l'entraînement IT ;
- l'entraînement IK induise des adaptations préférentiellement structurales alors que l'entraînement IT provoquerait plutôt des adaptations nerveuses.

Ce projet devrait apporter certaines réponses aux interrogations, des entraîneurs et des praticiens rééducateurs, sur les effets de chacun de ces deux modes de contraction dans le développement des propriétés musculaires spécifiques (gains de force, gains de puissance selon une plage angulaire donnée ; amélioration de la vitesse de contraction ; etc.). Ainsi ces travaux pourraient contribuer à préciser et optimiser les programmes d'entraînement ou de rééducation prescrits.

2-4 Perspectives de recherche – Partie 2

La plasticité du système neuromusculaire constitue une thématique que nous chercherons à traiter du point de vue des adaptations à l'exercice chronique. La difficulté liée à la mise en œuvre d'expérimentation conduite sur l'homme entraîné sur des périodes longues (supérieures à 6 semaines) devra être surmontée, tant les travaux sur ce type de modèle sont peu nombreux. Au delà des projets en cours et exposés précédemment sur la comparaison des effets de deux modes d'entraînement de la force isotonique vs. isocinétique, notre réflexion s'orientera vers des pistes théoriques dont certaines sont ici évoquées, et d'autres devraient émerger au fil des expériences et résultats acquis.

ADAPTATIONS NERVEUSES A L'EXERCICE CHRONIQUE

Nos réflexions se situent actuellement sur l'analyse des évolutions de l'activation musculaire et de ces effets sur la production de force. L'influence des processus d'inhibition musculaire et de co-activation sera particulièrement explorée puisque l'entraînement de force semble avoir un effet sur ceux-ci en réduisant leur degré d'interférence sur l'activation musculaire et donc la production de force. La revue de littérature soumise à publication (Remaud et coll., *Science et Sports*, 2005) pose les bases d'un questionnement théorique que nous approfondirons au cours des études à venir. En effet, les mécanismes à l'origine de l'inhibition musculaire ne sont pas clairement identifiés et localisés. Pour certains, il existe un système de régulation de la tension musculaire agissant sur l'activation du muscle lorsque celui-ci est en contraction maximale, qui se situerait à un niveau spinal mobilisant des récepteurs articulaires, les organes tendineux de Golgi et les fuseaux neuro-musculaires (Aagaard et coll., 2000a). Pour d'autres, l'origine de cette régulation serait supraspinale (Graven-Nielsen et coll., 2002). Par ailleurs, la co-activation des muscles antagonistes a pour effet de diminuer la force produite par les muscles agonistes lors d'une tâche motrice. Ce mécanisme de co-activation a un rôle protecteur au niveau articulaire puisqu'il viserait à mieux répartir les pressions au sein de l'articulation mobilisées, et stabiliser les pièces osseuses engagées subissant des contraintes fortes (Weir et coll., 1998 ; Baratta et coll., 1988 ; Aagaard et coll., 2000b). Ici encore, la localisation du système de régulation et d'activation des muscles antagonistes n'est pas clairement établie puisque certains le situeraient plutôt au niveau spinal, alors que d'autres auteurs suggèrent qu'au niveau cortical des

influx nerveux seraient envoyés simultanément aux unités motrices agonistes et antagonistes (Krogsgaard et coll., 2002 ; Mullany et coll., 2002). Ces pistes d'interrogations seront explorées par notre groupe dans l'avenir. De plus, l'étude de ces mécanismes nous intéresse aussi particulièrement dans le cadre des travaux précédemment relatés sur les « Coordinations musculaires et performance motrice » (Partie 1), puisqu'en effet les coordinations inter-musculaires et les évolutions des patrons de recrutement musculaire sont commandés par des mécanismes neuro-physiologiques qu'il serait important d'élucider. Enfin, nous venons de nous doter d'une technique d'investigation basée sur la stimulation électrique nerveuse ou musculaire qui devrait nous permettre d'explorer les effets de l'entraînement sur le recrutement musculaire et notamment sur la réduction du processus d'inhibition musculaire.

ADAPTATIONS STRUCTURALES A L'EXERCICE CHRONIQUE

Les adaptations structurales ne sont pas au centre de nos investigations actuelles. En effet, nous devrions pouvoir, suite à l'acquisition récente d'un échographe, étudier les effets de l'exercice chronique sur les modifications de l'architecture musculaire en terme de section musculaire, d'angles de pennation et de longueur des fibres musculaires. Ces caractéristiques architecturales ont une influence directe sur la production de force. Pour autant, celles-ci ne constituent pas les seules adaptations structurales induites par l'exercice chronique. La maîtrise par notre laboratoire de l'étude des propriétés mécaniques, et notamment viscoélastique des muscles et tendons impliqués dans l'acte moteur, pourra être mobilisée dans le cadre de ce programme de recherche. En effet, l'entraînement induit des modifications de ce type de propriétés déterminantes sur le couple de force externe produit (Cornu et coll., 1997 ; Cornu et coll., 2003). Par ailleurs, les adaptations structurales résultent de modifications de l'expression protéique induites par des contraintes mécaniques appliquées à ces structures. Ainsi, nous pourrions étendre nos investigations à l'étude des modifications protéiques et moléculaires consécutives à l'entraînement. Ceci nécessite des analyses histologiques, biochimiques et moléculaires de fragments de tissu musculaire. De tels travaux pourront être réalisés dans le cadre de collaborations interne⁶ et externes^{7,8} à l'Etablissement.

ETUDE DES MODALITES DE L'ENTRAINEMENT MUSCULAIRE

Nous prolongerons nos travaux sur cette modalité particulière d'entraînement de la fonction musculaire que constitue ce mode isocinétique. Il s'agira d'aboutir à des conclusions fiables sur la pertinence ou non de cette méthode d'entraînement et de rééducation du point de vue des gains de force et de l'activation musculaire. Notre approche actuelle centrée, d'une part sur le mode concentrique et d'autre part sur une comparaison opérée avec un mode isotonique, sera étendue à

⁶ UMR CNRS 6204, Unité de Biotechnologie, Biocatalyse et Biorégulation, Pr. Fontaine Pérus.

⁷ UMR 703 INRA / ENVN, Unité d'Anatomie Pathologie, Pr. Yves Chérel.

⁸ UMR CNRS 6600, Génie Biologique, Université de Technologie de Compiègne, Pr. Francis Goubel.

l'étude du mode de contraction excentrique, et des comparaisons pourront aussi être établies entre l'isocinétisme concentrique ou excentrique et des conditions d'entraînement couramment employées.

Nous chercherons également à explorer les effets de la régulation de l'intensité d'un entraînement de la force sur le suivi du niveau d'activation musculaire à maintenir au cours de l'exercice. En effet, l'exercice est systématiquement codifié sur la base d'un niveau de couple de force externe ou de charge fixe à développer ou à maintenir. Or, celui-ci ne s'adapte pas au cours de la contraction, et il est très rare qu'il soit variable au sein d'un exercice comportant plusieurs séries de mobilisation de la charge. De fait, l'entraînement tient peu compte des adaptations, notamment nerveuses, qui s'opèrent au sein même d'un exercice, et qui tendent à faire varier le niveau d'activation musculaire nécessaire pour développer par exemple un couple de force externe donné. C'est pourquoi, l'utilisation du niveau d'activation mesuré par EMGs et communiqué en instantané au sujet pour qu'il maintienne une consigne donnée, paraît un indicateur pertinent du niveau d'engagement et de l'intensité de l'exercice réalisé. A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée aux effets d'une telle méthodologie sur les adaptations chroniques de la fonction musculaire et ceci en comparaison aux méthodes d'entraînement qui utilisent classiquement une charge fixe ou un niveau de couple de force pour codifier l'intensité de l'exercice.

Au sein du laboratoire, une équipe (Cornu, Nordez et collaborateurs) développe un modèle musculo – squelettique à partir de la connaissance des propriétés biomécaniques des différents éléments constitutifs, alimenté par des données « d'entrées » originales issues de travaux menés par notre équipe associées à des données issues de la littérature. Ce modèle devrait à terme nous permettre d'apprécier les effets de certaines caractéristiques des exercices musculaires utilisés dans le cadre des entraînements de force, en les imposant au modèle comme variables, et ainsi connaître le résultat potentiel ou hypothétique de celles-ci sur le comportement du système musculo – squelettique et la production d'un couple de force. La perspective de se doter de ce type d'instrument nous paraît séduisante et devrait, dès sa validation acquise, nous permettre de progresser plus rapidement notamment en ce qui concerne le calibrage ou la définition des caractéristiques d'un exercice dont on souhaite apprécier les effets chroniques. Le nombre de répétitions, la durée et le mode de contraction, la durée des récupérations entre les efforts, etc., constituent des variables dont les effets sont toujours difficiles à apprécier lorsque l'on entreprend une étude des adaptations de la fonction musculaire à l'exercice chronique.

SECTEURS D'APPLICATION

Nous prolongerons nos travaux visant à valider la pertinence de méthodes d'entraînement couramment utilisées par des entraîneurs et fondées sur l'empirisme de ceux-ci. Nos réflexions à venir continueront à s'intéresser à la recherche de méthodes novatrices d'entraînement de la force et de détermination de méthodes innovantes d'évaluation des qualités musculaires développées au cours de l'entraînement de la fonction musculaire. Ces travaux pourront plus particulièrement être menés sur la

base de sollicitations émanant de structures sportives et d'entraîneurs en quête d'éléments de réponse face à ces pratiques d'entraînement et leurs effets sur le potentiel musculaire des sportifs.

Par ailleurs, l'implication de notre équipe dans le milieu pathologique et notamment le domaine des myopathies et de leurs effets sur la réduction du potentiel musculaire des patients, pourrait être intensifiée ces prochaines années. En effet, la perspective de voir dans un futur proche des thérapies géniques « réparatrices » mises au point, nous conduirait à travailler tout particulièrement sur la validation de méthodes d'entraînement pertinentes pour ces patients, alors en phase de reconstruction (régénérescence musculaire) de leur potentiel musculaire.

Le milieu spatial constitue un environnement particulier pour l'homme puisqu'il se caractérise par une absence de gravité. Les changements fonctionnels et structuraux subis par l'organisme de l'astronaute au cours des vols spatiaux peuvent avoir des conséquences négatives sur les missions spatiales. En effet, il a été prouvé que la fonction neuromusculaire est affectée dans ce contexte. Une atrophie musculaire notamment des muscles posturaux a été rapportée. La jonction musculo-tendineuse est affaiblie – diminution de la densité du tendon qui s'accompagne d'une dispersion multidirectionnelle de ses faisceaux de fibres – et le système osseux subit un phénomène de résorption. Sur un plan neurosensoriel, l'absence de gravité affecte le fonctionnement de récepteurs sensoriels et ainsi perturbe les mécanismes de programmation et de contrôle du mouvement. La fonction cardiovasculaire est également affectée par redistribution du volume sanguin et des liquides extra-cellulaires vers la région thoraco-céphalique. Ainsi, des changements cardio-vasculaires, hormonaux et hydro-électrolytiques perturbent le fonctionnement de l'organisme humain et génèrent un « déconditionnement cardio-vasculaire », se traduisant au retour en milieu gravitaire en particulier par une intolérance orthostatique qui se manifeste fréquemment lors du retour dans l'environnement gravitationnel. Ces modifications physiologiques et morphologiques peuvent être limitées par l'exercice musculaire retenu, en vue de préserver la capacité de travail, l'efficacité, l'adresse dans des tâches spécifiques, et de maintenir un niveau de condition physique compatible avec le bien être et la santé de ces personnes. Notre implication antérieure dans ce milieu, associé aux travaux actuellement menés sur les adaptations de la fonction musculaire à l'exercice chronique nous amène à envisager, dans un avenir proche, de participer à des appels d'offre formulés par le CNES sur l'étude des procédés prophylactiques les plus efficaces afin de préserver l'intégrité et la « bonne » condition physique des astronautes lors des vols spatiaux de longue durée. Ceci constituerait alors pour ma part une reprise d'activité dans ce milieu où les objectifs à atteindre en terme de mise au point de méthodes d'entraînement novatrices sont proches de ceux affichés dans le secteur du sport de haut niveau.

2-5 Adaptation de la fonction musculaire à l'exercice – *Travaux antérieurs*

Un ensemble de travaux et expériences antérieurs m'ont permis d'acquérir des connaissances et compétences utiles pour la conduite de nos recherches actuelles sur cette thématique. Par ailleurs, ceux-ci ont déterminé l'intérêt que je porte à ce type de questionnements, situant les adaptations de la fonction neuromusculaire à l'exercice chronique au cœur de nos réflexions. C'est pourquoi, ils sont ici partiellement relatés et situés à ce niveau au sein de cette seconde partie. Ce positionnement permet de souligner leur existence mais évite de les présenter comme intégrés dans les travaux actuellement menés par notre groupe de recherche sur la « Plasticité musculaire et contraintes chroniques ».

Mes recherches sur cette thématique ont débuté par une expérimentation conduite au cours du stage de recherche réalisé dans le cadre du DEA (1991 – 1992). Ce travail (étude A) visait à comparer des procédés d'entraînement musculaire (isométrique vs. isocinétique concentrique maximale) et leurs effets sur les mécanismes de recrutement neuromusculaire en utilisant la technique de l'électromyographie de surface comme approche qualitative et quantitative de l'activation neuromusculaire (Germain, Guével et coll., 1996). Cette étude était inscrite dans un programme de recherche financé par le MEDES « Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale » (CNES), visant à étudier les caractéristiques des exercices musculaires à prescrire comme contre-mesures face aux désadaptations induites par une exposition à un contexte micro-gravitaire ou à l'absence de pesanteur. En effet, l'environnement spatial se caractérise par l'absence de pesanteur et l'exiguïté de l'espace habitable. Ceci engendre une hypokinésie et une hypodynamie chronique pouvant être interrompue par des activités extra-véhiculaire (EVA) qui requièrent des potentialités physiques importantes pour réaliser efficacement des travaux particuliers. Ces conditions inhabituelles de vie, de travail et d'exercice sont sources de modifications des structures cardio-vasculaire, neuro-musculaire, osseuse et neuro-physiologique et posent le problème du déconditionnement de l'homme en microgravité. Ces involutions jusqu'alors appréciées au cours d'expérimentations simulant ces conditions (bedrest, vols paraboliques, etc.), sont caractérisées sur le plan fonctionnel par une augmentation de la fatigabilité et une diminution de la capacité à l'effort physique. Sur le plan structural, on constate une atrophie des muscles posturaux notamment, sollicités sur terre pour lutter contre la gravité. Si ces changements peuvent rester acceptables pour des vols de courte durée, il n'en est pas ainsi pour les missions de longue durée où ils deviennent préoccupants. De plus, si les EVA sont régulièrement pratiquées, la capacité de travail et l'efficacité des astronautes dans ces tâches spécifiques doit être garantie.

Etude A : Etude de l'activité électrique du système neuromusculaire lors de contractions isométriques et isocinétiques concentriques maximales. Approche EMG

Guével A

DEA STAPS, Université Aix Marseille II (31p), 1991
annexe T1-M2

Germain P, Guével A, Hogrel JY, Marini JF
Incidences de la vitesse de mouvement et de l'angle articulaire sur des paramètres électro-physiologiques et biomécaniques lors d'un mouvement d'extension du membre inférieur
Science et Sports, 11 : 39-45, 1996
annexe T1-AF1

L'étude menée avait pour objet de caractériser les activités électriques globales associées à des contractions musculaires maximales en régime isométrique et en régime isocinétique concentrique à différentes vitesses. Ces différents types de contractions musculaires sont utilisés dans des programmes d'exercice musculaire élaborés dans le but de prévenir et de compenser les altérations structurales et fonctionnelles du muscle squelettique résultant des conditions d'inactivités imposées en particulier par l'environnement caractéristique des vols spatiaux. Cette expérimentation avait donc pour but de fournir des indices d'investigation des modifications subies par le système neuromusculaire soumis à ces nécessités fonctionnelles particulières et de spécifier les caractéristiques neuromusculaires des exercices musculaires proposés comme mesures prophylactiques. L'expérimentation a été menée sur 6 sujets masculins. Les exercices consistaient en des actions de tirage d'une barre asservie mécaniquement et en mouvement à vitesse constante (isocinétisme de machine). Les pieds des sujets étaient en appui sur des cales pieds et le corps reposait sur un lit en position de décubitus dorsal. Les exercices étudiés consistaient en des actions isométriques maximales pour des angles jambes-cuisses compris entre 50 et 150° (180° = extension complète) et des mouvements isocinétiques aux vitesses de 30, 60, 90, 120, 150, 180°.s⁻¹. La force produite et mesurée au niveau de la barre tractée par les membres supérieurs des sujets était enregistrée. Les muscles explorés sur le plan de l'activité électrique qu'ils dissipent au cours de la contraction étaient les *vastus lateralis*, *vastus medialis* et *rectus femoris*. Les valeurs RMS normalisées (RMSn), sur des plages angulaires de 10 degrés ont été calculées a posteriori.

Comme supposé, les niveaux d'activation dépendaient de l'angle articulaire (i.e. longueur du muscle) et de la vitesse de raccourcissement du muscle. En effet, les phases initiales dynamiques (muscle allongé), les vitesses de mouvement élevées sur toute l'amplitude articulaire et les situations isométriques, favorisaient des débits d'activation musculaire élevés pour des niveaux de force faibles. En revanche, les vitesses faibles permettaient de concilier des débits d'activation et des forces élevés

sur toute l'amplitude articulaire. Ces résultats nous ont permis d'approfondir nos connaissances sur les effets potentiels des régimes de contraction associés à des intensités maximales utilisées lors des programmes d'exercice musculaire conçus pour lutter contre une hypokinésie et une hypodynamie chronique. A l'issue de cette étude, un choix des exercices musculaires retenus comme procédés prophylactiques utilisés durant les simulations de microgravité (bedrest) a été effectué sur la base de ces enseignements.

Cette étude a permis d'approfondir nos connaissances des adaptations subies par le système neuromusculaire soumis à des exercices musculaires proposés comme mesures prophylactiques aux effets délétères pour le système neuromusculaire d'une exposition prolongée à un environnement spatiale et micro-gravitaire. Les exercices, sur lesquels nos investigations ont porté, étaient ceux utilisés dans le cadre d'une expérimentation de bedrest, modèle visant à simuler pour l'organisme humain un environnement spatial prolongé. L'équipe de recherche à laquelle j'appartenais à cette période était impliquée dans un programme expérimental de bedrest organisé par le MEDES (Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale) et financé par le CNES. Mon directeur de recherche m'a sollicité afin que je participe en qualité d'expérimentateur au déroulement de la seconde phase d'expérimentation en 1991 qui se déroulait à l'Hôpital Purpan à Toulouse, et que je contribue au traitement des données acquises lors des pré- et post-tests qui entouraient la phase d'alitement (attestation – A. Guell, Responsable des programmes en Sciences de la Vie au CNES / annexe T2-3). Durant l'alitement, une des populations de sujets étaient entraînés selon un procédé visant le maintien et/ou le développement des qualités musculaires de ces personnes.

Ce travail, résumé ci-après, a fait l'objet d'une publication à laquelle je n'ai pas été associé :

Germain P., Guell A., Marini JF. **Muscle strength during bedrest with and without muscle exercise as a countermeasure.** *European Journal Applied Physiology Occup. Physiol.* 71(4) : 342-348, 1995.

Le modèle de bedrest a été retenu pour simuler l'effet de l'apesanteur sur les évolutions du système musculaire soumis à cet environnement. Cette étude a été menée sur 12 sujets masculins en bonne santé exposés pendant 28 jours à un alitement en position de décubitus sur un lit incliné à 6 degré de l'horizontale (tête en bas). Notre objectif principal était d'examiner un ensemble de contre-mesures préventives pour maintenir les capacités fonctionnelles de l'homme. Les 12 sujets volontaires, sous contrat pour la réalisation de cette expérimentation, étaient répartis en deux groupes : un groupe entraîné, et un groupe contrôle. Les 6 sujets entraînés ont exécuté des séances d'exercices musculaires en position allongée pendant 30 à 45 minutes chaque jour. Les actions isométriques ont été effectuées sur une durée variable selon l'exercice et allant de 5 à 30 secondes aux angles de genou de 90, 120 et 150 degrés. L'entraînement isocinétique concentrique était conduit aux vitesses de 30 et 180°.s⁻¹. Les couples de force produit par les muscles extenseurs de la jambe ont été mesurés sur un ergomètre Cybex®. L'hypothèse avancée annonce que les exercices isométrique et isocinétique concentrique

quotidien et intense imposés aux sujets devraient permettre de maintenir leurs qualités fonctionnelles face à cette situation de simulation d'absence de pesanteur (modèle bedrest). Les 6 sujets contrôles n'ont réalisé aucun exercice musculaire durant les 28 jours d'alitement.

Les résultats ont montré une réduction significative ($p < 0.0001$) du couple de force produit par les extenseurs de la jambe [$- 10.3 \pm 6.7 \%$] pour le groupe contrôle, alors qu'aucune évolution n'était rapportée pour le groupe entraîné [$+ 3.9 \pm 6.8 \%$]. Les auteurs en concluent que ces entraînements musculaires constituent des contre-mesures efficaces pour compenser les effets sur le système musculaire d'une réduction de la gravité.

Au cours de l'année 1992 (service national en cours), et comme ceci a été précisé dans la partie « Présentation du candidat », j'ai eu la possibilité de poursuivre une activité de recherche dans mon laboratoire d'origine. Ainsi, j'ai participé à la mise en œuvre d'une expérimentation de bedrest visant à simuler, sur une période de 14 jours, un voyage lunaire. Dans ce cas, l'alitement est adapté à la gravité spécifique à la planète visitée et aux conditions de voyage. La déclivité du lit était de -6° (tête en bas) durant 4 jours (simulation du voyage), puis de 6 jours à $+11^\circ$, et de -6° durant 4 jours (voyage retour). Cette étude (B) a été conduite à l'Hôpital Purpan (Toulouse) et commandée par le MEDES.

Etude B : Etude des paramètres biomécaniques force / vitesse des muscles extenseurs et fléchisseurs du genou en condition de vol lunaire simulé

Germain P, Guével A, Marini JF

Moon flight and moon station simulation. Extensor and flexor muscles from leg to thigh strength / speed biomechanic's investigation

Rapport interne – Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale – MEDES / CNES, Toulouse, 1992

Les vols spatiaux ont pour résultats une atrophie musculaire, la modification des caractéristiques structurales et fonctionnelles du muscle squelettique ainsi que différentes altérations organiques, notamment cardio-vasculaires. L'expérimentation de bedrest (simulation de vols lunaires APOLLO) que nous avons menée, en collaboration avec plusieurs équipes, s'est déroulée au sein de l'Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale (MEDES / CNES). Son objet était d'étudier l'évolution des paramètres biomécaniques force / vitesse de muscles striés squelettiques posturo-moteurs lors de la suppression de l'activité anti-gravitaire. Les sujets étaient soumis à un entraînement de force sur la base des procédés utilisés lors de la campagne de bedrest 1990 – 1991 (Germain et coll., 1995). Des tests avant et après la période d'entraînement ont été réalisés sur un ergomètre de type Cybex II+®. Ces tests visaient à caractériser en condition isocinétique concentrique pour une large gamme de vitesses (30, 60, 105, 120, 180, 210, 240, $300^\circ \cdot s^{-1}$) et en situation isométrique à un angle de genou de

15° (0° : verticale fil à plomb), les qualités de force des extenseurs et fléchisseurs du genou. Des pré- et post-tests de raideur des muscles postérieurs du tronc ont été réalisés.

Les résultats ont montré une progression de 4.7 % (\pm 21.4) de la force moyennée des fléchisseurs de la jambe et une régression de 6.4 % (\pm 12.9) de la force moyennée des extenseurs du genou. Une différence significative ($p < 0.001$ – Wells-Dillan test) existait entre les forces moyennées des fléchisseurs et extenseurs de la jambe. Toutefois, la grande variabilité des résultats associée au faible nombre de sujets rendent les résultats moyennés délicats à interpréter. Par ailleurs, les qualités de raideur des muscles postérieurs du tronc n'ont pas évolué suite à cette période de bedrest.

Le laboratoire (DRE CREPS de Provence ; UPR CNRS 418) a été retenu pour réaliser la conception et le développement d'un ergomètre ayant vocation à être embarqué dans une station spatiale et sur lequel les astronautes devaient pouvoir réaliser un entraînement musculaire visant le maintien de leur capacité fonctionnelle. En effet, l'exercice musculaire (« contre-mesures ») constitue l'un des moyens les plus efficaces pour lutter contre les désadaptations physiologiques lors des vols spatiaux. Les systèmes d'entraînement couramment utilisés dans l'espace sont le tapis roulant et la bicyclette ergométrique. Le maintien d'une contrainte le long de l'axe vertébral n'est possible qu'en utilisant les systèmes à tendeurs, difficiles à mettre en œuvre d'un point de vue ergométrique. Enfin, ces dispositifs ne sont pas appropriés pour l'entretien des muscles du membre supérieur, nécessaire en particulier pour les EVA. Un ergomètre a été développé au laboratoire (contrat MEDES / CNES) nommé « exercer » spatialisable. La vocation de cet « exercer » est de placer le sujet dans les conditions de réalisation de mouvements de rame par traction de poignées saisies, avec une extension du membre inférieur, du tronc et une flexion du membre supérieur. Les pieds sont fixés et un asservissement mécanique permet de réguler la vitesse constante de déplacement des poignées et/ou la charge à développer. Cet « exercer » permet de solliciter un nombre important de masses musculaires en mode isométrique, concentrique et excentrique isocinétique. Un logiciel spécifique assure le pilotage de l'asservissement et sa régulation, ainsi que l'acquisition de paramètres mécaniques et physiologiques pour le suivi des performances musculaires et des capacités fonctionnelles des astronautes (cf. rapport interne : Hogrel et Marini, 1995 - Développement et évaluation d'un modèle de laboratoire d'« exercer » spatialisable, MEDES – CNES).

Cet ergomètre, dans sa version prototype 1, a été éprouvé en situation micro-gravitaire lors d'une campagne de vols paraboliques mise en place par la région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) et le CNES en 1993. Il a s'agit ici d'apprécier l'ergonomie du système et de vérifier la faisabilité du fonctionnement de l'ergomètre et des chaînes de mesures associées dans un contexte micro-gravitaire et un environnement exigu. Les conclusions de cette campagne, consignées dans le rapport cité ci-avant (Hogrel et Marini, 1995) ont permis de formuler des préconisations suivies lors du développement du prototype 2. Ce dernier a été testé et éprouvé en laboratoire, puis en vols

paraboliques lors d'une campagne (1994) organisée par l'ESA (Agence Spatiale Européenne). Au cours de cette étude nous avons visés les objectifs technologiques et scientifiques suivants :

- étude technologique et ergonomique d'un outil d'entraînement conçu pour lutter contre les désadaptations induites par les vols habités de moyennes et longues durées, à une fin de spatialisation ;
- observation du comportement de l'individu lors d'une séance d'activité physique intensive sur l'ergomètre spatialisable ;
- étude des sollicitations du système neuromusculaire et des forces qu'il génère, au cours des exercices musculaires en contractions isométriques para-maximales et maximales et isocinétiques de mouvement à vitesses rapides et lentes, sur ergomètre spatialisable.

Les résultats de cette étude ont montré qu'il était possible d'atteindre des niveaux de force et d'activation musculaire élevés ou maximaux dans un contexte micro-gravitaire sur ce type d'ergomètre. Toutefois, les résultats tant mécaniques qu'électromyographiques n'apportaient pas d'informations pertinentes car acquis sur un sujet. De plus, ceux-ci n'ont pas été mis en rapport avec ces mêmes paramètres mesurés en situation gravitaire terrestre. Par ailleurs, sur le plan technologique et de la validation de la faisabilité à conduire des séances d'entraînement de la force musculaire à des niveaux maximaux et para-maximaux en situation micro-gravitaire, cette étude a été dense en enseignements.

Ce contexte de travail m'a conduit à présenter une demande d'allocation de recherche au CNES afin de débiter une thèse à compter de novembre 1992. J'ai ainsi produit et rédigé un programme de recherche en collaboration avec mon directeur de laboratoire (Pr. JF Marini) à cette période. J'ai ensuite opté pour une autre forme de contrat en thèse et n'ai donc pas mis en œuvre ce programme.

Les objectifs scientifiques et techniques contenus dans celui-ci étaient les suivants :

- Déterminer et valider la pertinence de contenus de séances d'exercice musculaire sur l'« exercer » visant le développement et/ou l'entretien des qualités physiques des astronautes et répondant aux objectifs assignés en fonction des caractéristiques des missions et notamment leur durée (courte, moyenne, longue), qui pourront être utilisés en vol dans un temps réduit ;
- Définir des méthodes d'évaluation des capacités fonctionnelles des astronautes, en condition : pré-vol, afin de réaliser des choix techniques dans la programmation des exercices musculaires à proposer, et post-vol pour mettre au point des contre-mesures permettant d'accélérer la réadaptation des sujets à leur retour sur Terre ;
- Définir un protocole d'évaluation et de suivi de l'évolution ou de l'involution des qualités physiques des astronautes en cours de vol, afin d'adapter et d'individualiser les exercices musculaires qui leur sont proposés ;
- Proposer des programmes d'entraînement pré-vol permettant de minorer les altérations occasionnées par les vols spatiaux, notamment pour les missions de courte durée, et en

relation avec le questionnaire suivant : est-il préférable de posséder un potentiel physique élevé et de limiter ses involutions ? –ou– est-il souhaitable de posséder un potentiel physique suffisant et de maintenir au mieux celui-ci ?

- Orienter l'amélioration du prototype d'« exercer » actuellement disponible.

Mon intérêt pour les effets de l'exercice sur la fonction musculaire m'a conduit à accepter une collaboration avec Emmanuel Prou (Docteur en médecine). Ainsi, j'ai participé aux travaux qu'il a mené sur les dommages musculaires induits par des exercices musculaires aux modalités de contraction sous maximale de type isométrique, concentrique isocinétique et excentrique isocinétique.

Etude C : Evaluation des lésions musculaires discrètes induites par l'exercice

Prou E, Guével A, Bénézet P, Marini JF
Exercise-induced muscle damage : Absence of adaptive effect after a single session of eccentric isokinetic heavy resistance exercise
The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 3 : 226-232, 1999
annexe T1-AI2

L'exercice physique inhabituel en intensité, en volume, ou par le mode d'action musculaire mobilisé et de par les groupes musculaires concernés, est susceptible d'induire des dommages musculaires prenant la forme de lésions musculaires discrètes. Ces lésions, objectivées par des modifications de l'ultrastructure musculaire pouvant aller jusqu'à la nécrose, se traduisent au plan fonctionnel par un tableau dit de « Delayed onset muscle soreness » (DOMS) – courbatures. Les techniques d'évaluation de ces dommages sont directes (analyse de biopsies musculaires) ou indirectes par analyse des variations des concentrations et activités sériques de différentes molécules notamment. Le marqueur sérique communément utilisé est la créatine kinase (CK). Les concentrations sériques en fragments de chaînes lourdes de myosine de type I (MHC) constitue un marqueur intéressant puisqu'il permet d'étudier à la fois les altérations du système contractile et des membranes cellulaires. Sa spécificité orientée vers les fibres de type I permet aussi d'envisager une différenciation des altérations subies par les différents types de fibres musculaires.

Cette étude s'est intéressée aux effets d'exercices musculaires excentriques sur les dommages musculaires et sur l'effet adaptatif et protecteur d'un exercice excentrique isolé sur les lésions musculaires discrètes.

L'exercice musculaire excentrique constitue le mode d'action induisant les DOMS les plus aigus notamment lorsque l'exercice provocateur est inhabituel par son intensité (Armstrong et coll., 1991, Gibala et coll., 1995). Il semble qu'un exercice excentrique isolé et provocateur de dommages musculaires produit un effet adaptatif et protecteur du système musculaire, et ainsi protège le muscle

mobilisé des dommages provoqués par ce même type d'exercice répété quelques semaines plus tard (Byrnes et coll., 1985, Nosaka et coll., 1991). Nous formulons l'hypothèse selon laquelle l'exercice musculaire en mode isocinétique concentrique induisant une montée progressive de l'intensité du couple de force contrôlée volontairement par le sujet, ne générerait pas d'effet adaptatif protecteur. Six sujets masculins sédentaires ont participé à l'étude. Ils ont réalisé deux sessions de tests en mode isocinétique excentrique (EE1 et EE2) d'extensions de la jambe ($120^\circ \cdot s^{-1}$; 8 séries de 15 répétitions) espacés de 4 semaines. Nous avons mesuré les concentrations sériques en CK et MHC et évalué les douleurs ressenties au niveau des groupes musculaires antérieurs et postérieurs de la jambe en fonction d'une échelle de rang à 5 classes (Sherman et coll., 1984), immédiatement après l'exercice provocateur et 1, 2, 4, 6, 9 jours après.

Les deux exercices induisent des augmentations significatives ($p < 0.01$) des concentrations en MHC et CK et des scores atteints à l'échelle des DOMS. En revanche, nous n'observons pas de différence entre les sessions EE1 et EE2 quelque soit le jour après l'exercice. Les valeurs moyennes des concentrations les plus élevées au cours de la cinétique étudiée étaient respectivement pour EE1 et EE2 : MHC ($\text{microU} \cdot \text{l}^{-1}$) : $308 \pm 192 / 285 \pm 191$; CK ($\text{U} \cdot \text{l}^{-1}$) : $1217 \pm 760 / 1297 \pm 1039$; scores aux DOMS : $2.67 \pm 0.52 / 2.33 \pm 0.52$. La session EE1 n'induit donc pas d'effet adaptatif et protecteur sur le muscle mobilisé vis à vis d'un même exercice reproduit à l'identique 4 semaines plus tard (EE2). En revanche, nous rapportons une évolution du travail moyen produit au cours des 8 séries qui atteint 10.2 % ($p < 0.05$) entre EE1 et EE2. Il semblerait que l'exercice EE1 provoque des adaptations spontanées au niveau des structures productrices de force mobilisées. Ce travail a été prolongé par une étude visant la comparaison des dommages musculaires induit par des exercices aux modalités de contraction différentes : isométrique vs. concentrique vs. excentrique. Cette étude s'est attachée à égaliser le travail externe produit lors des exercices afin de comparer l'influence du mode d'action et écarter l'effet potentiel de la quantité de travail musculaire sur les dommages musculaires induits.

Cette collaboration m'a permis d'appréhender de nouvelles notions théoriques et de « mesurer » les effets délétères de certaines conditions de travail musculaire.

Dans le contexte sportif, j'ai été amené à encadrer l'entraînement physique de sportifs de haut niveau et notamment d'un finnoise⁹ (entre 1993 et 1996) réalisant un travail de développement de son potentiel physique important notamment au niveau musculaire. L'une de ses attentes se situait vers la réduction d'un déficit unilatéral des muscles extenseurs du genou. Nous avons alors mis en œuvre un protocole d'évaluation des effets de l'entraînement proposé sur la base d'une approche expérimentale. Ainsi, les effets, en terme de gains de force, de l'entraînement prescrit ont été évalués. Cette étude de cas, résumée plus bas, a fait l'objet d'une communication lors d'un congrès International de l'ACAPS.

⁹ navigateur pratiquant le Finn, dériveur solitaire support d'une série inscrite au programme des JO

Etude D : Déficit unilatéral des muscles extenseurs du genou chez un finniste

C2-3 Guével A., Prou E., Bénézet P. Déficit unilatéral des muscles extenseurs du genou chez un finniste. VII^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Marseille (France), 1997

annexe T1-C2-3

Un Finniste de haut niveau (Champion du Monde 1993 & 1996) a présenté lors de la Préparation Olympique 96 un déficit unilatéral de force des extenseurs du genou en relation avec une amyotrophie homolatérale objectivée par une différence des surfaces de section musculaire mesurée par scanner (8%). Ce déficit se traduisait en navigation sur l'amure concernée, par une fatigabilité musculaire précoce obligeant l'athlète à diminuer l'intensité du couple de rappel exercé. Cinq séances d'évaluation du couple de force lors d'extension du genou en concentrique ($45^{\circ} \cdot s^{-1}$ et $135^{\circ} \cdot s^{-1}$) et isométrique à 110° (180° : extension complète) ont été réalisées sur un dynamomètre isocinétique Cybex 6000[®] : séances 1 et 2 (S1 et S2) : 18 et 9 semaines avant le championnat du monde 1995 ; séance 3 (S3) : immédiatement après celui-ci ; séance 4 (S4) : 18 semaines plus tard ; séance 5 (S5) : 1 an plus tard, immédiatement avant le championnat du monde 1996. Afin de réduire le déficit de force, la quantité de travail en entraînement de force était supérieure de 15% pour le membre inférieur gauche entre S1 et S2, et de 10% entre S3 et S4. Entre S2 et S3, et entre S4 et S5, les quantités étaient équivalentes. Le déficit initial de force (-8,6%) a régressé (-1,9%) à l'issue de la période S1-S2 (surcharge de travail : 15%). A l'issue de la période S2-S3 (surcharge nulle), il a augmenté (-10,4%). A l'issue de la période S3-S4 (surcharge : 10%), il s'est inversé (+4,7%). Cette inversion a perduré jusqu'à S5 (+5,3%). Entre S1 et S5 (18 mois), le gain moyen de force était de 14,2% à droite et de 29,9% à gauche. Ce gain moyen global était de 12,7% à $135^{\circ} \cdot s^{-1}$ (26,1% à gauche), 27,7% à $45^{\circ} \cdot s^{-1}$ (34,2% à gauche) et 21,8% en isométrie à 110° (29,3% à gauche). L'amyotrophie n'a pas régressé.

Deux périodes de travail (9 et 18 semaines), pendant lesquelles la quantité de travail en entraînement de force du membre inférieur gauche (MIG) était de 15 puis de 10% supérieure à celle du membre inférieur droit (MID), ont permis de rééquilibrer les qualités de force de ce finniste. L'amélioration, dans un premier temps transitoire, a perduré par la suite alors que les quantités de travail en entraînement de force étaient équivalentes pour les deux membres. Les plaintes du sportif concernant la fatigabilité précoce du MIG ont disparu. Ceci a été objectivé par l'amélioration des tests d'endurance isométrique spécifique du MIG, initialement plus fatigable que le MID. L'amyotrophie du MIG n'ayant pas régressé et en l'absence d'éléments en faveur d'une augmentation de la proportion des fibres de type II, les phénomènes responsables des gains de force pourraient être de nature nerveuse (Sales, 1988).

Par ailleurs, j'ai été amené à encadrer le développement des qualités physiques des véliplanchistes des équipes de France hommes et femmes. En 1995, alors que s'achevait la Préparation

Olympique 96 pour Atlanta, et au terme d'une expérience de quatre années de pratique des nouvelles règles de courses (i.e. mouvement de pumping notamment), nous avons conçu et développé un test d'évaluation de l'endurance de force des véliplanchistes, sur la base du Wingate test, et adapté à certaines spécificités de la discipline. Les données acquises sont résumées dans le paragraphe suivant (étude E).

Etude E : Conception et développement d'un test d'évaluation des qualités d'endurance de force des véliplanchistes et analyse des effets d'une période d'entraînement sur cette qualité musculaire

C1-9 Guével A. Caractéristiques de force des véliplanchistes de haut niveau et exploration de leur endurance de force. *Entretiens de l'INSEP, Paris (France)*, 1999

annexe T1-C1-9

Nous avons conçu un test visant à évaluer l'endurance de force des muscles fléchisseurs du coude sur la base du Wingate test (Ayalon et coll., 1974). L'objectif de ce test est de caractériser le fonctionnement du métabolisme anaérobie. Il permet d'estimer la puissance moyenne et la puissance maximale anaérobie lactique ainsi qu'un indice de fatigabilité.

Notre test consiste à réaliser une série de flexions - extensions de la position bras en extension jusqu'à la flexion du coude à 90°. Ce mouvement est répété à intensité maximale pendant une durée de 45 secondes. Cet exercice est effectué sur un ergomètre ARIEL CES 5000®. Les sujets étaient allongés sur le dos. La barre utilisée pour réaliser le test était située à la verticale au dessus des épaules des sujets. Celle-ci pouvait être mobilisée suivant un axe vertical de manière isocinétique. Le test étant issu du modèle du mouvement de pumping, la vitesse de mobilisation de la barre a été calibrée. Une étude réalisée par Guével (1997), en condition réelle de navigation, a permis de déterminer à l'aide de goniomètres posés sur le coude de véliplanchistes, la vitesse angulaire moyenne du coude lors de mouvements de pumping. La valeur moyenne obtenue ($400^{\circ}.s^{-1}$) a été convertie en vitesse linéaire de mobilisation du wishbone ($2.5 m.s^{-1}$). L'ergomètre a été réglé pour que la barre soit mobilisée à $2.5 m.s^{-1}$ en tirage. La vitesse de poussée était de $9 m.s^{-1}$, ce qui correspond à la valeur maximale acceptée par l'ergomètre. L'objectif pour les sujets était de développer lors de chaque traction une force maximale en relation avec la vitesse imposée à la barre. Ils devaient également réaliser le plus de répétitions possibles en 45 secondes. Une chaîne de mesure associée à l'ergomètre enregistrait la force développée lors de chaque traction. Nous obtenions donc pour chaque test les valeurs de force développée pour toutes les tractions effectuées. Nous avons déterminé un ensemble de paramètres biomécaniques permettant de caractériser le niveau de performance atteint par chaque véliplanchiste à ce test :

- cadence exprimée en répétitions par seconde

- force moyenne (moyenne des forces développées au cours de toutes les tractions effectuées lors d'un test)
- force moyenne sur les 5 premières tractions et les 5 dernières
- force maximale (valeur la plus élevée de la force développée au cours du test)
- force minimale (valeur la moins élevée de la force développée au cours du test)
- rapport entre la force maximale et la force minimale (caractérise la chute de force)
- pente de la droite de régression linéaire tracée à partir de l'ensemble des valeurs de force atteintes à chaque traction (illustre la diminution de la force développée au cours du test)
- index de fatigue exprimé par le rapport entre la force maximale (moyennée sur les cinq premières répétitions) et la force minimale (moyennée sur les cinq dernières répétitions) exprimé en pourcentage (figure 5).

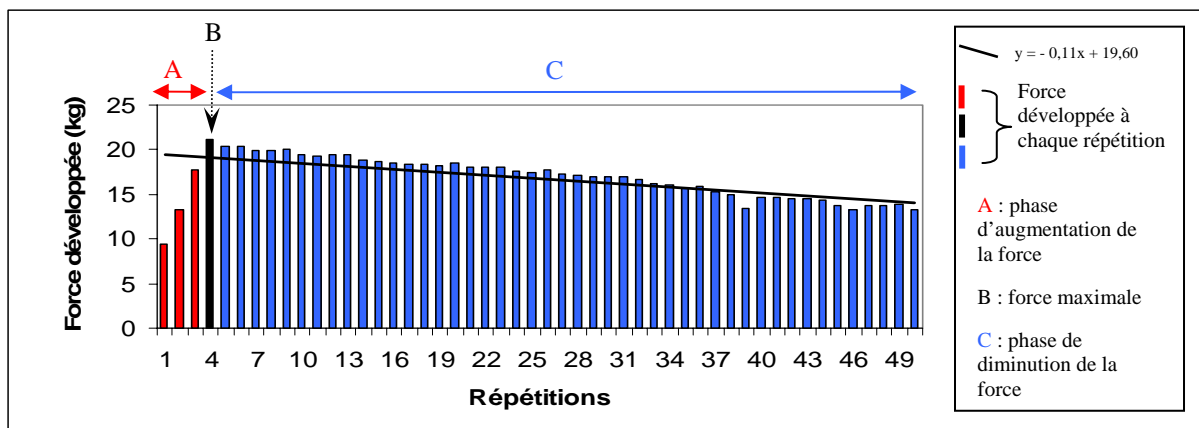


Figure 5 : exemple de « profil type » d'évolution de la force développée à chaque répétition au cours du test de tirage sur barre.

Nous avons réalisé une étude visant à étudier les effets de l'entraînement prescrit aux véliplanchistes de haut niveau sur leur capacité de « résistance » à la fatigue musculaire au niveau des membres supérieurs, sur deux sessions de test espacées par 8 mois d'entraînement. Toutefois, cette période d'entraînement regroupait des contenus programmés pour tendre vers une amélioration de l'ensemble des qualités physiques et techniques de ces sportifs de haut niveau. Les tests organisés en janvier et septembre 1998 étaient situés à des périodes compétitives exigeant du sportif un niveau de préparation physique optimal. Notre hypothèse est que l'entraînement effectué au cours de la saison améliore les caractéristiques d'endurance de force des véliplanchistes.

Dix véliplanchistes (6 hommes et 4 femmes) membres de l'équipe de France Olympique ont participé à cette étude. Les sujets devaient réaliser une série de tirages d'une barre à intensité maximale pendant 45 secondes sur l'ergomètre ARIEL CES 5000®.

Nos résultats ne rapportaient pas de différences significatives entre les valeurs des paramètres étudiés pour les deux sessions de test comparés. Notre hypothèse initiale était donc invalidée. La configuration du calendrier de la saison étudiée pourrait expliquer ces résultats. Les deux sessions ayant été réalisées

en pleine période compétitive, les sujets devaient être à leur meilleur niveau physique. De plus, il est apparu que le temps consacré au développement des qualités musculaires relatives à l'endurance de force des membres supérieurs ne semblait pas suffisant pour permettre des améliorations significatives de cette qualité musculaire. La procédure d'évaluation mise en œuvre a été utilisée entre 1997 et 1999 à six reprises dans le cadre du suivi de l'entraînement des véliplanchistes de haut niveau. Elle a permis aux sportifs et entraîneurs de croiser ce type de données quantitatives avec leurs observations et auto-évaluations subjectives.

Ces travaux centrés sur les adaptations du système neuromusculaire à l'exercice associés à l'intérêt porté depuis 1990 aux effets de l'entraînement sur la performance sportive, ont contribué à la définition de l'axe thématique relaté dans cette partie et à le positionner comme l'un des axes prioritaires du programme scientifique du laboratoire « Motricité, Interactions, Performance ». Ainsi, ces études associées aux compétences et connaissances acquises lors de leur réalisation, trouvent leur prolongement dans nos activités actuelles qui, au delà des deux études en cours et menées par Anthony Remaud, ouvrent vers des perspectives scientifiques étendues au regard des rares travaux relatifs aux effets de l'exercice chronique et de l'exigence qui s'impose aux sportifs pour accéder à la plus haute performance.

2-6 Conclusion

L'exploration des adaptations de la fonction musculaire à l'exercice chronique constitue une activité de recherche trouvant des applications utiles dans divers domaines sportif, clinique, professionnel. Cette thématique de recherche est au centre de mon activité depuis quatre années. Nous nous attachons à explorer actuellement les effets d'une procédure d'entraînement particulière : l'isocinétisme de machine comme moyen d'imposer une contrainte mécanique à vitesse constante au sujet. Nous avons tout d'abord mis au point et validé une méthodologie d'égalisation de la quantité de travail et de la vitesse de mobilisation de la charge en vue de pouvoir comparer, dans des conditions satisfaisantes, plusieurs modalités d'entraînement musculaire qui se différencient par les caractéristiques mécaniques de la contrainte imposée au système. Nous comparons actuellement les effets de modes d'entraînement isocinétique vs. isotonique. Nos premiers résultats semblent montrer que le mode isocinétique n'induirait pas d'adaptations neuromusculaires supérieures au mode isotonique. Notre réflexion s'oriente sur l'effet de ces deux modes d'entraînement sur les processus d'inhibition musculaire et de co-activation. Ces travaux trouveront des applications directes dans les

milieux de l'entraînement et de la rééducation fonctionnelle. Ils pourraient aussi trouver des prolongements dans le milieu spatial à l'avenir.

Ces travaux ont fait l'objet de trois publications dans des revues indexées. Une quatrième soumise est en cours d'expertise. Des projets de collaborations sur les plans local, national et international, sont en cours d'élaboration sur cette thématique de recherche.

Etude et caractérisation des sollicitations physiologiques et biomécaniques induites par la pratique de sports nautiques

L'exploration des *sollicitations physiologiques et notamment musculaires propre à un geste sportif ou à une action motrice* constitue pour notre équipe un préalable à l'étude de déterminants de la performance sportive tels que la fatigue musculaire induite par le maintien ou la répétition d'une contraction musculaire, ou encore à l'étude des effets de méthodes d'entraînement de la fonction musculaire.

La mobilisation du système neuromusculaire comme effecteur du mouvement ou du maintien de postures nécessite d'être investiguée par le biais d'une caractérisation biomécanique et électromyographique lorsque les connaissances descriptives du système considéré ne sont pas ou insuffisamment connues. La spécialisation sportive et le niveau d'expertise constituent des variables influant sur les formes et niveaux de sollicitation de la fonction musculaire auxquelles nous nous intéressons particulièrement. Par exemple, nous avons décrit les sollicitations des muscles extenseurs et fléchisseurs de la jambe induites par diverses modalités d'entraînement utilisées en aviron à haut niveau (Guével et coll., 2004). Il est apparu que les exercices considérés par l'entraîneur comme induisant des sollicitations cardiorespiratoires les plus élevées, sont également à l'origine de niveaux élevés de sollicitation des muscles étudiés croisant l'articulation du genou. Ce travail souligne aussi la participation des muscles antagonistes à l'extension du genou comme particulièrement mobilisés et offrant donc une résistance à ce type d'action motrice.

Certains de ces travaux s'accompagnent d'un transfert des connaissances scientifiques émergentes vers des savoirs pratiques et technologiques qui visent à aider l'entraîneur dans sa conception et mise en œuvre de méthodes d'entraînement pertinentes. De plus, ces projets nous

amènent à réaliser des développements technologiques en collaboration avec des structures de recherche spécialisées en « génie Mécanique »¹⁰ et/ou des entreprises consacrant une part de leur activité au développement technologique.

Cette thématique a fait l'objet de mon travail de thèse. Le programme de recherche mis en œuvre consistait à étudier les sollicitations cardiaque, métabolique, musculaire induites par une pratique sportive (planche à voile Olympique) en situation de compétition réelle et simulée, et analyser les répercussions de certains changements réglementaires (Guével, 1997 ; Guével et coll., 1999 ; Guével et coll., 2000). Depuis, nous nous sommes engagés dans un projet qui vise à analyser les sollicitations physiologiques et biomécaniques inhérentes au maintien de la position de rappel en dériveur solitaire en voile Olympique. Notre activité est actuellement centrée sur l'étude des sollicitations neuromusculaires et l'impact de la fatigue, comme facteur limitant la performance motrice dans ce sport, sur le maintien de cette posture (Maïsetti et coll., 2002c, 2005 [soumise]). Récemment, nous avons mis en œuvre (2004) un programme de recherche centré sur les déterminants biomécaniques et physiologiques de la performance en Aviron. Ce programme vise trois objectifs : (i) la caractérisation des sollicitations physiologiques et biomécaniques en situation de pratique de l'aviron à haut niveau et des contraintes mécaniques associées ; (ii) l'étude des effets de méthodes d'entraînement en aviron ; (iii) la conception et le développement de procédures novatrices d'évaluation du potentiel physique des sportifs de haut niveau et des caractéristiques mécaniques du geste technique en aviron.

3-1 Programme A – Sollicitations physiologiques et Planche à voile Olympique
--

Des modifications réglementaires en planche à voile olympique sont intervenues fin 1992, dont les principales constituaient l'autorisation des mouvements répétés de traction du gréement (pumping), la réduction de la durée des manches et une organisation différente des compétitions. Ces changements ont eu une incidence sur les qualités physiques pré-requises dans ce sport pratiqué à un haut niveau de performance.

Dans le cadre de la réalisation de mon doctorat (Guével, 1997), nous avons décrit les sollicitations imposées par ce sport au plan général (cardiaque et métabolique) en compétition chez des véliplanchistes de haut niveau (membres de l'équipe de France ou Espoirs), puis particulièrement sur certains groupes musculaires en navigation. La présence d'une fatigue musculaire des fléchisseurs des

¹⁰ Laboratoire « GéM – Institut de recherche en génie civile et mécanique » UMR CNRS 6183 – Université de Nantes ; Laboratoire de Mécanique des Fluides UMR CNRS 6598 – Ecole Centrale de Nantes

membres supérieurs, facteur limitant la performance physique, a été étudiée. Une évaluation des forces développées par le véliplanchiste en navigation nous a conduit à développer un ergomètre spécifique.

La fréquence cardiaque (FC) atteint $87,4 \pm 4,3$ % de la FC maximale (FCmax) en compétition dans le vent faible (durée moyenne des courses : $37 \pm 3,5$ min) et la lactatémie post-course avoisine 6 mmol.l^{-1} . La $\dot{V}O_{2\text{max}}$ des véliplanchistes a évolué significativement depuis les modifications des règles de course ($72 \pm 2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). L'allure a une influence très significative sur la réponse cardiaque. La FC s'élève à $90,6 \pm 2,1$ % FCmax et la lactatémie est supérieure à $9,3 \pm 3 \text{ mmol.l}^{-1}$ après un bord de Portant. Le pumping a engendré une augmentation des niveaux de sollicitations physiologiques. Il est utilisé en continu dans les vents faible et médium au Portant à une fréquence de 1 Hz, et la force de traction développée par le véliplanchiste atteint 800 N. L'analyse des sollicitations musculaires par électromyographie de surface indique que les fléchisseurs des membres supérieurs et des doigts ainsi que les extenseurs du tronc ont une activité très élevée au pumping quels que soient le vent et l'allure. Il a été mis en évidence qu'une fatigue musculaire localisée au niveau des fléchisseurs des membres supérieurs, d'origine périphérique, est une cause d'interruption des mouvements de pumping. Comme les contraintes liées à l'environnement marin limitent les investigations en condition de navigation, un ergomètre spécifique reproduisant en laboratoire le mouvement de pumping a été développé et éprouvé sur un exercice de Portant simulé. A la lumière de ces résultats, des orientations sur l'entraînement physique des véliplanchistes, sur l'évaluation de leurs qualités physiques et sur la conduite à tenir pour prévenir les traumatismes liés à la pratique intense, ont pu être proposées aux cadres techniques de la fédération.

Guével A. (1997). Evaluation des sollicitations physiologiques en planche à voile olympique – Incidences des changements réglementaires – Conséquences sur l'entraînement. Thèse de doctorat en STAPS de l'Université de la Méditerranée, Marseille (259p)

La première étude réalisée durant mon doctorat a fait l'objet d'une publication.

Guével A, Maïsetti O, Prou E, Dubois JJ, Marini JF
Heart rate and blood lactate response during competitive Olympic boardsailing
Journal of Sport Sciences 17 : 135-141, 1999
annexe T1-AI1

Le but de cette étude était d'évaluer l'incidence des changements réglementaires sur les sollicitations cardiaques et métaboliques mesurées en compétition de planche à voile Olympique. L'analyse portait sur les effets de l'intensité du vent, des allures et du numéro du tour. Les relations existant entre la performance à l'arrivée, la fréquence cardiaque et la lactatémie ont été testées. Parmi les nombreuses modifications des règles de courses intervenues à partir de 1992, l'autorisation du « pumping » a constitué le changement majeur. Son utilisation accroît l'avancement de l'engin, surtout dans les gammes de vent faible et médium.

8 sujets ($23 \pm 2,7$ ans) appartenant à l'équipe de France ont participé à cette étude. Les niveaux et différences de sollicitations cardiaques et métaboliques (fréquence cardiaque, lactatémie) ont été étudiés en compétition réelle (de niveau national et international) et avec deux gammes de vent différent. Chez les véliplanchistes de haut niveau, les besoins en énergie semblent couverts par l'utilisation mixte des processus aérobie et anaérobie. La réponse cardiaque moyennée sur la manche atteint 85 % FCmax (durée moyenne des manches : 35 min). Elle est plus élevée dans le vent faible vs. médium. Les lactatémies moyennes mesurées en fin de course (supérieures à 5 mmol.l^{-1}) ne diffèrent pas selon l'intensité du vent. Le Portant constitue l'allure où la FC moyenne mesurée est la plus élevée (88 % FCmax ; durée des bords : 7 à 10 min). Le parcours se compose de deux tours, les sollicitations cardiaques sont significativement supérieures sur le premier tour. Il semble donc que les changements de règles en compétition de planche à voile aient élevé le niveau des sollicitations cardiaques et métaboliques.

Les données acquises lors de ces expérimentations ont fait l'objet d'un traitement complémentaire présenté au sein d'un mémoire soutenu en vue de l'obtention du diplôme de brevet d'état d'éducateur sportif troisième degré en voile en 1995 (partie : « Formation commune »).

Guével A. (1995). Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie en compétition de planche à voile olympique. *Formation commune*. Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III^{ème} degré. INSEP, Paris (65p)
annexe T1-M4

Ce travail regroupe des éléments complémentaires et/ou en lien avec le contexte de l'examen pour lequel il a été réalisé. En outre, il souligne que la FC moyenne sur la course et la lactatémie fin de course ne semblent pas de bons estimateurs de la performance à l'arrivée. Toutefois, cette conclusion se voit aujourd'hui contre-dite par les travaux de Chamari et coll. (2003). Il semble que les mécanismes aérobie soient prioritairement sollicités et que la fraction d'exercice à puissance maximale ou para-maximale aérobie soit importante notamment au Portant.

La *deuxième* étude portait sur l'analyse des sollicitations musculaires en navigation. Celle-ci a permis d'explorer le rôle « moteur » des muscles des membres supérieurs responsables de la préhension du wishbone et de la mobilisation du gréement ainsi que leur haut niveau d'activation. Il semble donc que les sollicitations musculaires aient évolué avec le changement de règles et l'autorisation du pumping. Les chaînes musculaires localisées au niveau des membres inférieurs étaient particulièrement sollicitées sous l'égide des anciennes règles de courses alors que ce sont les muscles des membres supérieurs et postérieurs du tronc qui seraient à présent les plus mobilisés. Cette étude menée sur trois sujets nous a permis d'évaluer l'influence des variables environnementales sur l'intensité de l'exercice et par voie de conséquence sur les niveaux d'activation musculaire. Celles-ci ne pouvant pas être correctement maîtrisées, et les conditions expérimentales en environnement marin

ne pouvant pas être strictement reproductible d'un sujet à l'autre, alors nous avons limité le nombre de sujets mobilisés pour ces investigations et renoncé à la publication de ces données. Il nous semble que ce type d'étude ne puisse rigoureusement s'envisager qu'en laboratoire sur des exercices simulés sur ergomètre, ou en soufflerie.

La *troisième* étude a fait l'objet d'une publication (Guével et coll., 2000, annexe T1-A3) dont le contenu a déjà été rapporté au sein de la partie 1 de ce chapitre (Activités de recherche) puisqu'elle a constitué dans mon parcours d'apprenti chercheur, une « porte d'entrée » vers une thématique centrée sur l'exploration de la fatigue musculaire et ses manifestations électromyographiques.

Les études menées sur les sollicitations cardio-vasculaires, métaboliques et musculaires en compétition et en entraînement rendent compte du niveau élevé de préparation physique que les athlètes doivent atteindre dans ce sport sous l'égide des nouvelles règles de courses. Dès lors, une réorganisation des contenus d'entraînement physique et technique a été opérée dans l'optique de doter les véliplanchistes français des qualités physiques requises à haut niveau, de compétences techniques, mais aussi de prévenir les risques de traumatismes liés au surentraînement et/ou à certaines sollicitations spécifiques.

La *quatrième* et dernière partie du travail réalisé dans le cadre de mon doctorat a consisté en le développement d'un ergomètre nous permettant de simuler les exercices physiques spécifiques à la pratique de la planche à voile Olympique en simplifiant la situation sportive complexe. Une analyse de l'activité du point de vue des différentes modalités de réalisation du geste de pumping selon les allures et l'intensité du vent, a été menée afin de définir les caractéristiques du geste technique à simuler et les caractéristiques technologiques associés de l'ergomètre. Des mesures mécaniques ont été réalisées, visant à quantifier la force développée par le véliplanchiste au cours des mouvements de tractions du gréement. Une modélisation des forces appliquées sur le gréement et du comportement de ce dernier en phase de mouvement, a permis de définir une méthodologie de calcul indirect de la force dynamique (F) exercée par le véliplanchiste sur son gréement par quantification de la masse (m) du gréement en phase statique et mesure de l'accélération (a) de celui-ci en phase dynamique de traction. Puis, la force était calculée selon le principe de Newton : $\vec{F} = m \times \vec{a}$. Les résultats des mesures réalisées en navigation ont permis de quantifier la force F selon l'allure et l'intensité du vent. Il s'avère que la force de traction développée par le véliplanchiste peut atteindre 800 N. Par ailleurs, une étude bibliographique dans les domaines de l'ergométrie a été réalisée afin d'évaluer les systèmes existant et leurs intérêts et limites dans notre contexte. Nous avons rédigé un cahier des charges tenant compte du champ disciplinaire dans lequel devait être exploité cet ergomètre (biomécanique et physiologie de l'exercice musculaire) et de nos attentes en terme de simulation d'un exercice physique particulier. L'ergomètre développé permet d'effectuer des mouvements de traction d'une charge par préhension d'une barre horizontale, reliée à un asservissement mécanique créant la charge à déplacer

par le sujet soumis à cet exercice. L'asservissement mécanique se compose d'un vérin pneumatique piloté par un régulateur de pression. Le choix de la pression d'air dans le vérin est fonction de l'intensité du vent que l'on souhaite simuler. Un frein électromagnétique a été intégré dans ce système afin de pouvoir ajouter une charge supplémentaire au cours de la phase de traction. Un logiciel, développé spécifiquement pour la commande de cet outil, assure le pilotage des protocoles expérimentaux ainsi que la visualisation en temps réel des paramètres fixant les consignes d'exécution des exercices. Une chaîne de mesure de paramètres dynamiques est couplée à cet ergomètre et permet la mesure de la force développée par le sujet et du déplacement couvert par la charge mobilisée au cours des mouvements.

L'exploitation de cet ergomètre permet de transporter certaines problématiques en laboratoire afin de standardiser les situations expérimentales, de maîtriser et contrôler les variables environnementales. Dès sa conception, il a été éprouvé au cours d'une expérimentation visant à simuler un exercice de type « bord de Portant ». Cette étude, non publiée, a été présentée dans le mémoire de thèse. L'ergomètre a été exploité dans le cadre de l'entraînement des véliplanchistes de haut niveau. Des travaux associés à son utilisation ont été initiés, d'autres sont à l'état de projet. Pour exemple, nous envisageons d'étudier l'influence du type d'activité motrice réalisée lors d'un exercice ergométrique sur la relation $FC - \dot{V}O_2$ et la valeur de $\dot{V}O_{2max}$, déterminée individuellement lors d'un test maximal à charge croissante. Les situations ergométriques comparées seraient : le rameur, le tapis roulant, et l'ergomètre de simulation du geste de pumping. Or, d'après les travaux de Londree et coll. (1995), il semble que cette relation diffère selon l'exercice musculaire imposé au sujet. Cette étude devrait permettre de valider l'hypothèse selon laquelle ces relations $FC - \dot{V}O_2$ acquises au cours d'exercices ne mobilisant pas les mêmes masses musculaires suivent un modèle différent. Si ce résultat s'avérait exact alors ceci imposerait, dans l'avenir, d'établir cette relation de manière individuelle et sur un ergomètre spécifique à l'activité (planche à voile Olympique) afin d'utiliser ensuite celle-ci en vue d'estimer la dépense énergétique des véliplanchistes en compétition à l'aide de l'enregistrement en continu de leur FC. Cette donnée énergétique peu connue actuellement permettrait au médecin nutritionniste en charge des sportifs de haut niveau, de prescrire plus précisément les rations alimentaires des véliplanchistes en situation de compétition. De plus, nous avons en projet l'analyse des sollicitations musculaires des membres supérieurs sur la base des travaux de Buchanan et coll. (1996) en situation de laboratoire sur simulateur.

Impliqué dans la préparation physique des sportifs de l'équipe de France de planche à voile Olympique depuis 1990, notre démarche a évolué sous l'influence des changements réglementaires intervenus en 1992. Les procédés innovants d'entraînement ont été étudiés lorsque ceci nous est apparu indispensable en vue de valider ou invalider leur utilisation routinière.

Nous avons conçu deux types de protocoles d'entraînement physique en navigation qui avaient pour objectifs le développement de la puissance maximale aérobie et/ou de la capacité anaérobie d'une

façon prioritaire, mais aussi le renforcement musculaire spécifique, et enfin, le travail des différentes modalités d'exécution du geste technique de pumping. Les caractéristiques du mouvement de pumping étaient utilisées comme mode d'incrémentement de l'intensité de l'exercice. Cette étude a été conduite sur 8 véliplanchistes masculins (en équipe de France au moment des expérimentations). Le premier protocole visait le développement de la puissance maximale aérobie (PMA) et les sollicitations cardiaques atteintes étaient respectivement de 86,5 et 90,2 % de la FC maximale (mesurée lors d'un test progressif et maximal sur tapis roulant) sur des séances réalisées en période « Prè-compétitive » et « Compétitive », valeurs proches de la zone cible théorique correspondant au développement de la PMA (Astrand et Saltin, 1961). Il apparaît que la position de la séance dans la saison a un effet sur le niveau de sollicitation cardiaque atteint.

Les sollicitations cardiaques mesurées au cours de la séance d'entraînement de type capacité anaérobie se situent en moyenne entre 84 et 87 % de la FC maximale selon la série. Ces niveaux de sollicitation cardiaque ne sont pas inclus dans la zone cible théorique de développement de la capacité anaérobie des athlètes (Conconi et coll., 1982), si l'on accepte que la FC est un indicateur fiable de l'intensité de l'exercice physique dans ce type de situations. Des résultats préliminaires sur la lactatémie mesurée en fin d'entraînement tendraient à montrer le contraire. Ces procédés d'entraînements méritent une attention particulière car ils peuvent avoir des conséquences traumatologiques tant les stimuli imposés aux athlètes sont élevés. Leur intérêt apparaît conditionné par le niveau de préparation technique et musculaire spécifique des véliplanchistes.

Cette étude a été présentée au sein d'un mémoire soutenu en vue de l'obtention du diplôme de brevet d'état d'éducateur sportif troisième degré en voile en 1995 (partie : « formation spécifique »).

Guével A. (1995). Préparation physique et suivi de l'entraînement en planche à voile Olympique. Etude des sollicitations cardiaques induites par des séquences novatrices d'entraînement. *Etude prospective*. Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III^{ème} degré. INSEP, Paris (32p)

Enfin, nous avons réalisé une étude sur les caractéristiques physiques et leurs évolutions, des véliplanchistes des équipes de France de planche à voile olympique, au cours de la préparation olympique 1996 – 2000. Le profil physiologique des véliplanchistes a été dressé à partir des valeurs maximales obtenues sur 14 sujets (7 hommes et 7 femmes) aux tests portant sur la mesure de paramètres aérobie, de puissance moyenne sur un test de 2000 m sur rameur, de force et vitesse maximale au tirage sur barre et au développé-couché, et d'endurance de force déterminée à partir d'un test spécifique et original sur ergomètre ARIEL. L'analyse statistique portant sur la comparaison des profils des qualités physiques des véliplanchistes montrent un effet significatif du sexe ($p < 0.05$). Les hommes atteignent des valeurs plus élevées d'environ 23 % par rapport à celles des femmes, sur l'ensemble des paramètres étudiés. Les tests post-hoc ont permis de déterminer une différence significative entre les hommes et les femmes pour chacun des paramètres étudiés, hormis la taille et

l'indice de fatigue lors du test d'endurance de force (i.e. pente de la droite de régression). La pente correspond au coefficient directeur de la droite de régression linéaire dressée à partir des valeurs de force développée à chaque répétition au cours du test mené pendant 45 secondes, et constitue un indice révélant la fatigue musculaire des fléchisseurs des bras des véliplanchistes.

11 sujets parmi les 14 ont été retenus pour une analyse statistique portant sur l'effet d'une période de 8 mois d'entraînement. Celle-ci fait état de différences significatives pour trois paramètres sur les dix étudiés ($\dot{V}O_{2max}$, puissance moyenne au test sur rameur, force maximale au tirage sur barre).

Les qualités physiques des véliplanchistes féminines sont inférieures en moyenne aux qualités physiques des véliplanchistes masculins. Les contraintes matérielles et réglementaires étant les mêmes pour ces deux populations de sportifs, nous pouvons supposer que l'exercice physique induit par la pratique de ce sport à un haut niveau engendre une sollicitation physiologique et biomécanique plus élevée pour les femmes que pour les hommes. Les véliplanchistes possèdent d'importantes qualités aérobies. Ils présentent également des caractéristiques biomécaniques spécifiques : la puissance développée par les muscles des bras est supérieure à celle de sujets non spécialistes d'une telle activité. L'effet de l'entraînement concerne les qualités aérobies et de force musculaire. Ces résultats tendent à souligner l'importance qui doit être accordée, lors de l'entraînement, au développement des qualités permettant au véliplanchiste de produire un pumping efficace et de maintenir un niveau élevé d'activité durant la totalité de la manche. Cette étude devrait faire l'objet d'une publication en cours d'écriture.

Les activités de recherche centrées sur cette discipline sportive ne constituent plus un axe de travail intégré dans le programme scientifique de notre laboratoire « Motricité, Interactions, Performance ». En conséquence, les travaux réalisés dans le futur sur cette discipline olympique ne se feront que s'ils sont sollicités et financés par la FFV. Les instances internationales viennent de modifier à nouveau les règles matérielles du déroulement des compétitions Olympiques. Le type de matériel a changé dans la perspective des JO de Pékin. Compte tenu des caractéristiques du nouveau matériel, il semble que cette évolution ait un impact sur les sollicitations physiologiques et biomécaniques induites par cette pratique sportive Olympique. De fait, des travaux visant à caractériser l'impact de ces modifications réglementaires pourraient s'avérer nécessaires afin de mieux cerner les exigences physiques de ce sport et adapter en conséquence les procédures d'entraînement utilisées dans le cadre de la préparation physique des véliplanchistes de haut niveau. Dans ce contexte, j'ai entrepris la rédaction d'une revue de la littérature dont l'objectif serait de faire un état des connaissances scientifiques permettant de caractériser les sollicitations physiologiques et biomécaniques induites par la pratique de ce sport à haut niveau dans les conditions réglementaires et matérielles antérieures. Celle-ci serait complétée par un ensemble de préconisations sur les axes de réflexions à mener en vue d'analyser l'impact de ce changement de matériel.

Le maintien de la position de rappel participe indirectement à la vitesse d'avancement optimale de l'embarcation. Il consiste à opposer à la force du vent sur le plan de voilure un couple de force créé par le poids et la taille du régatier. Ce geste sollicite les extenseurs du genou, et fléchisseurs de la hanche et du tronc selon un mode de contraction à dominante isométrique.

Les spécialistes de l'activité considèrent que la capacité à maintenir cette position limiterait la performance en dériveur solitaire. Le niveau de consommation d'oxygène en navigation semble conforter l'existence d'un facteur d'origine musculaire limitant la performance que seuls les experts compenseraient en adoptant des stratégies de recrutement inter-musculaire spécifiques. Nous cherchons actuellement à étudier les sollicitations neuromusculaires et l'impact de la fatigue, comme facteur limitant la performance motrice dans ce sport, sur le maintien de cette posture. Nous avons réalisé une revue de littérature faisant état des connaissances sur les sollicitations physiologiques induites par la pratique du dériveur de compétition et notamment par le maintien de la position de rappel, en vue d'ouvrir une réflexion sur les perspectives de recherches attendues.

Maisetti O, Guével A, Iachkine P, Legros P, Brisswalter J

Le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire, aspects théoriques et propositions méthodologiques pour l'évaluation de la fatigue musculaire associée

Science et Sports 17 : 234-246, 2002c

annexe T1-AF2

Le dériveur solitaire (Laser et Finn) fait partie des disciplines Olympiques en voile pour lesquelles le niveau d'exigence physique requis paraît élevé. Une régata en voile Olympique est composée de la somme de 9 à 12 manches d'une durée variable (45 à 120 min). Le nombre de manches par jour est de 1 à 3 espacées de 30 à 45 min de récupération. Les sollicitations physiologiques induites par la pratique du dériveur solitaire sont peu étudiées dans la littérature, notamment en raison des difficultés méthodologiques posées par le milieu marin. La vitesse du bateau est fonction de la capacité du régatier à maintenir un couple de rappel élevé et constant dans les vents médium et fort. Certains auteurs s'accordent à dire que la capacité à maintenir cette position serait un facteur déterminant de la performance (Shephard, 1997 ; Spurway et Burns, 1993). La contribution du métabolisme aérobie dans la couverture des besoins en énergie lors de cette pratique compétitive atteint 55 à 60 % de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$) chez des régatiers de haut niveau (Castagna et coll., 2004). Ces résultats situent l'implication du métabolisme aérobie à un

niveau élevé notamment au regard de la durée des efforts répétés dans une journée de course. Le geste technique du rappel peut être exécuté selon un mode de recrutement musculaire prioritairement isométrique (maintien de la posture) mais également dynamique (régulation posturale par effet des mouvements de l'embarcation). Les muscles sollicités ont été objectivement mis en évidence à partir d'études électromyographiques (De Vito et coll., 1993). Ces travaux ont montré que le rôle des muscles antérieurs du tronc et des membres inférieurs est primordial dans le maintien de la position de rappel. Le maintien de la position de rappel est garanti par deux chaînes musculaires antérieures et bilatérales. La capacité de ces muscles à maintenir une contraction sous-maximale en vue de conserver une posture optimale sur la durée de la régata semble déterminante sur la performance en dériveur solitaire. La durée maximale de maintien de la position de rappel ou capacité d'endurance (Tlim) a été mesurée en condition statique et dynamique. Les experts de la discipline ont un Tlim supérieur aux non spécialistes (Larsson et coll., 1996). La fatigue musculaire localisée au niveau des muscles sollicités prioritairement (i.e. extenseurs des jambes, fléchisseurs du tronc) serait à l'origine de la baisse d'efficacité du régatier (Vogiatzis et coll., 1993, 1996). Pour ce faire, les connaissances scientifiques sont encore sur certains aspects insuffisantes et mériteraient d'être développées.

Cette synthèse de la bibliographie souligne les difficultés rencontrées lors d'investigations menées en navigation ainsi que les limites de ces travaux. En conséquence, nous avons conçu et développé un ergomètre permettant de simuler en laboratoire le maintien de la position de rappel, en vue de développer nos travaux sur ce geste technique et la fatigue musculaire qu'il induit.

Développement d'un ergomètre de mesure du couple de rappel en dériveur

Guével A, Iachkine P¹¹

Service Recherche Développement – Ecole Nationale de Voile

L'objet de ce développement technologique a consisté en la réalisation d'un ergomètre de mesure du couple de rappel en dériveur. Sur la base des travaux antérieurs, nous avons conçu un système permettant de réaliser cette mesure en situation standardisée sur le couple « barreur (ou équipage) – bateau », de reproduire l'angle de gîte du bateau et d'associer le prélèvement d'indicateurs mécaniques complémentaires (positions segmentaires, force au niveau de l'écoute, etc.).

L'ergomètre est composé d'un cadre en aluminium posé sur deux rotules (attache remorque). Des bers fixés sur le cadre reçoivent le bateau du sujet testé ce qui permet d'utiliser cet ergomètre pour différents types de bateaux (470, Laser et Finn) gréés et équipés (conditions de navigation) selon les exigences du protocole. L'axe longitudinal et de rotation du bateau passe par le centre de carène et les assiettes longitudinale et latérale du bateau peuvent être réglées. Le système « ergomètre – bateau » est en équilibre autour de l'axe longitudinal du bateau. Un côté du cadre est relié au sol par l'intermédiaire

d'un câble de taille réglable. Du côté opposé le barreur (ou l'équipage) s'installe. Des repères au sol et au mur permettent de visualiser en instantané la position du sujet. Un capteur de force (électronique) est inséré sur le câble reliant le liston du bateau au sol. Il mesure la force de rappel (figure 6). La mesure de cette force (F) est réalisée après calibrage du capteur. Elle est multipliée par la distance (d) entre l'axe longitudinal du bateau et le point d'application du câble solidaire du cadre (le câble suit une verticale stricte - fil à plomb) pour obtenir le couple de force ou couple de rappel ($Crap.$), soit : $Crap. = F \times d$ (N.m) ; avec $d = 0,85$ m. Un second capteur de force est installé entre la poulie d'écoute et l'écoute de grand voile. Il permet de mesurer la tension sur l'écoute exercée par le membre supérieur du barreur. Cela permet de suivre l'utilisation de l'écoute, ici comme point d'appui, pour maintenir sa position de rappel. Le dispositif est complété par une caméra placée en arrière du bateau (son champ de vision suit une orthogonale au plan transversal du bateau). Les afficheurs des deux capteurs de force sont dans le champ de vision de la caméra arrière ce qui permet de lier les positions segmentaires avec les valeurs du couple et la tension d'écoute. Un vidéo-projecteur projette les images de cette caméra sur le mur faisant face au barreur. Une caméra est située au-dessus du système. Son champ de vision suit une verticale stricte par rapport au sol. Ces données complètent l'étude de la position du sujet sur son bateau. Cette situation expérimentale offre la possibilité d'utiliser des outils de mesure de paramètres physiologiques et mécaniques dans des conditions standardisées et reproductibles.

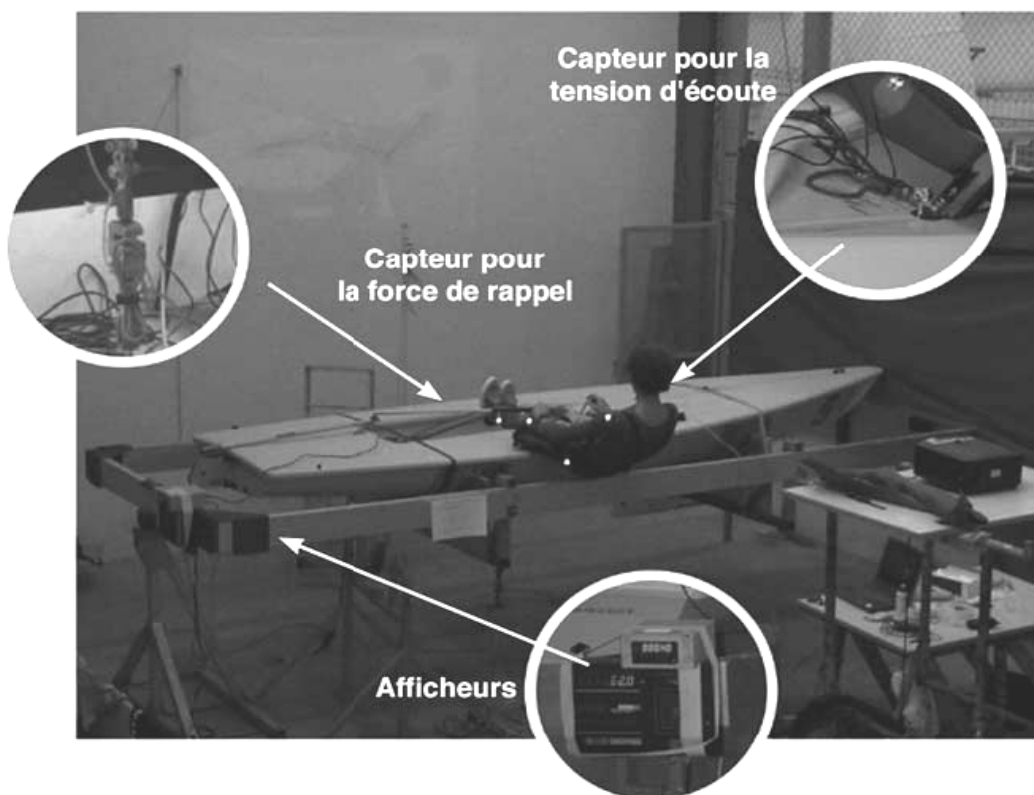


Figure 6 : Vue d'ensemble de l'ergomètre de mesure du couple de rappel en dériveur (un laser est fixé sur le système)

¹¹ Paul Iachkine, docteur – ingénieur et responsable du Service Recherche Développement de l'Ecole Nationale de Voile

L'ergomètre a été éprouvé et utilisé pour l'évaluation de l'influence de la posture et du port de vêtements sur le couple de rappel réalisée sur des sportifs des équipes de France de 470 et Laser. Son utilisation dans le domaine de l'évaluation du potentiel physique des sportifs de haut niveau en voile est envisagée. Ce développement technologique a été publié au sein de la revue de littérature citée précédemment, dans une annexe clôturant celle-ci (Maïsetti et coll., 2002c).

Cet ergomètre de mesure du couple de rappel a été utilisé dans le cadre de l'étude des adaptations neuromusculaires induites par le maintien jusqu'à épuisement d'une tâche multi-segmentaire sous-maximale chez des Laséristes de haut niveau ; étude soumise à publication : Maïsetti O, Boyas S, Guével A, *IJSM* (référence AS2).

Ces travaux ont permis d'étudier l'évolution des niveaux d'activation des muscles composant les deux chaînes musculaires bilatérales participant au maintien de la position de rappel jusqu'à épuisement, dans des conditions posturales spécifiques à la discipline. Nos résultats en accord avec la littérature rapportent des évolutions des paramètres temporels et spectraux caractéristiques de l'apparition d'une fatigue musculaire aiguë variable selon le muscle et le niveau d'expertise des sujets (Vogiatis et coll., 1993, 1996). Ils soulignent la présence d'une fatigue périphérique sur les fléchisseurs de la hanche et particulièrement sur les *rectus abdominis*, bien que minorée par le niveau d'expertise. Ceci conforte l'hypothèse d'un chef musculaire le plus fatigable comme facteur limitant de la capacité d'endurance en rappel chez les non spécialistes et à un degré moindre chez les spécialistes de rappel. Ces connaissances pourraient contribuer à s'interroger sur les orientations de l'entraînement en endurance de force des régatiers.

Cette étude a fait l'objet de deux communications orales :

- C1-10 Maïsetti O., Boyas S., Guével A. Influence du niveau d'expertise sur la fatigue neuromusculaire induite par le maintien d'une tâche pluri-segmentaire sous maximale. *X^{ème} Congrès international de l'ACAPS, Toulouse, 2003*
- C1-11 Boyas S., Maïsetti O., Guével A. Neuromuscular fatigue induced by sustained hiking. *Sailing Sport Science Conference, Toulon, 2004*

Par ailleurs, sur ce geste technique, nous avons réalisé une étude exposée succinctement dans la Partie 2 de ce chapitre, et visant à évaluer les incidences d'un programme de renforcement musculaire sur la réduction d'un déficit unilatéral des muscles extenseurs du genou chez un finnisiste (annexe T1-C2-3).

Le maintien de la position de rappel constitue pour nous actuellement un geste technique et une posture engageant plusieurs segments en position statique et maintenu par des chaînes musculaires activées en mode de contraction isométrique, sur laquelle nous opérons certains travaux sur l'étude de l'incidence de la fatigue sur les coordinations musculaires.

Pour autant, notre expertise sur ce type d'activité sportive nous permettrait de répondre à des sollicitations du mouvement sportif en vue de traiter certaines questions relatives aux sollicitations physiologiques induites par cette pratique sportive. Ce type d'implication se fera dans l'avenir sur demande de la FFV ou d'une structure d'entraînement.

3-3 Programme C – Sollicitations physiologiques et Aviron

L'aviron est une discipline sportive présente au programme des Jeux Olympiques depuis leur création. En compétition, les rameurs doivent parcourir 2000 mètres en un temps minimal. Cette distance est également réalisée par les rameurs sur ergomètre d'aviron lors de tests permettant la sélection des équipages nationaux. Les sollicitations physiologiques inhérentes à ce type d'effort ont été largement explorées (Hagerman, 1984).

La consommation d'oxygène est élevée et proche du maximum lors d'une course en aviron d'une durée d'environ 6 min. D'ailleurs, la $\dot{V}O_{2max}$ des rameurs de haut niveau se situe entre 70 et 75 ml.kg⁻¹.min⁻¹ (Secher, 1983). La puissance développée par le rameur est déterminée par l'activation des extenseurs des jambes (Rodriguez et coll., 1990). Les stratégies de course ont été caractérisées lors d'épreuves sur 2000 mètres (Garland, 2005). Néanmoins, les sollicitations et les stratégies de recrutement musculaire développées au cours de cet effort demeurent inexplorées.

Nous avons défini les contours d'un programme de recherche sur cette discipline Olympique. Ses caractéristiques et notamment l'effort physique qu'elle induit soulève des questionnements intéressants et en lien avec nos axes thématiques, i.e. la fatigue musculaire, les adaptations de la fonction musculaire à l'exercice chronique. De plus, une revue de la littérature sur les sollicitations physiologiques et biomécaniques en aviron nous a permis de faire état du peu de travaux scientifiques, et par conséquent de la place laissée à l'empirisme dans la construction des méthodes d'entraînement dans ce sport pourtant ancien.

Notre programme vise les objectifs suivants :

- (i) la caractérisation des sollicitations physiologiques et biomécaniques en situation de pratique de l'aviron à haut niveau, et des contraintes mécaniques associées (en situation réelle ou simulée) ;
- (ii) l'étude des effets de méthodes d'entraînement en aviron ;

- (iii) la conception et le développement de procédures novatrices d'évaluation du potentiel physique des sportifs de haut niveau et des caractéristiques mécaniques du geste technique en aviron.

Ce projet a été exposé au responsable du Pôle France Aviron basé à Nantes et à des entraîneurs de clubs Nantais. Il a aussi reçu l'adhésion d'enseignants – chercheurs appartenant à des équipes de recherche pouvant apporter des savoir-faire complémentaires à ce que nous sommes en capacité de réaliser, notamment dans le domaine de la mécanique et l'ingénierie : Laboratoire de mécanique des fluides de l'Ecole Centrale de Nantes – UMR CNRS 6598 (Dr. JM Kobus, S Barré) ; Institut de recherche en génie civil et mécanique – UMR CNRS 6183 (Dr. P Casari).

Nous avons réalisé une étude s'inscrivant dans ce premier axe thématique (i). Celle-ci a fait l'objet d'une communication lors des Journées Internationales des Sciences du Sport à l'INSEP. Sur la base d'un nouveau traitement des données recueillies sur une population de 8 rameurs, nous avons entamé la rédaction d'une publication qui devrait être soumise dans le courant du dernier semestre 2005 (référence AE2).

Caractérisation des sollicitations musculaires des extenseurs de la jambe lors des séquences codifiées d'entraînement en aviron

Guével A, Nordez A, Boyas S, Cornu C

C1-12 Guével A., Nordez A., Boyas S., Guihard V., Cornu C. Characterization of muscular requests of leg extensors during codified training sequences of rowing. 3^{èmes} Journées Internationales des Sciences du Sport, Paris, 2004

annexe T1-C1-12

Cette étude tente de caractériser, à l'aide de l'électromyographie de surface, les niveaux d'activation des extenseurs de la jambe lors de séquences d'entraînement codifiées en aviron. L'aviron est une discipline olympique nécessitant un haut niveau de préparation physique. La puissance développée à chaque coup de rame constitue également un facteur déterminant de la performance en aviron. De fait, Parkin et coll. (2001) ont montré que la force maximale et la puissance musculaire étaient supérieures chez des rameurs par rapport à des sujets non-pratiquants aux caractéristiques morphologiques similaires. Les extenseurs des jambes constituent les éléments « moteurs » à l'origine de la puissance développée par le rameur (Rodriguez et coll., 1990).

Un rameur de haut niveau (22 ans, 192 cm, 102 kg) a participé à cette étude. Après un échauffement, le sujet effectuait 3 contractions isométriques maximales de flexion et d'extension de jambe sur 2 appareils de musculation instrumentés (3 angles articulaires : 90°, 110° et 130°). La séance de test sur l'eau se déroulait en 5 séquences séparées par 5 min de récupération : i) échauffement (5 min) ; ii) 10

min d'entraînement de type B1 (FC < 75% FCmax et 16-18 coups/min) ; *iii*) 10 min d'entraînement de type B2 (FC < 85% FCmax, 18-20 coups/min) ; *iv*) 2 départs à intensité maximale (15 coups) ; *v*) 500m à allure maximale. Le bateau (skiff personnel, figure 7) était équipé d'un potentiomètre fixé sur la dame de nage permettant de mesurer la rotation de l'aviron dans le plan horizontal. Le couple de force produit par le rameur était mesuré par des jauges de déformation (Baudouin et Hawkins, 2004). Un électro-goniomètre mesurait l'angle articulaire du genou. L'activité électromyographique des muscles *Vastus Lateralis* (VL), *Vastus Medialis* (VM), *Rectus Femoris* (RF), *Biceps Femoris* (BF) et *Semitendinosus* (ST) était recueillie. Les données étaient enregistrées par une chaîne d'acquisition portable. Les valeurs RMS pour chaque extension des jambes étaient normalisées par rapport à l'activité électrique maximale obtenue à l'angle correspondant sur appareils de musculation. Enfin, nous avons calculé un niveau d'activation moyen pour les 4 séquences étudiées. La puissance moyenne par coup a été déterminée en multipliant le couple par la vitesse angulaire de l'aviron.

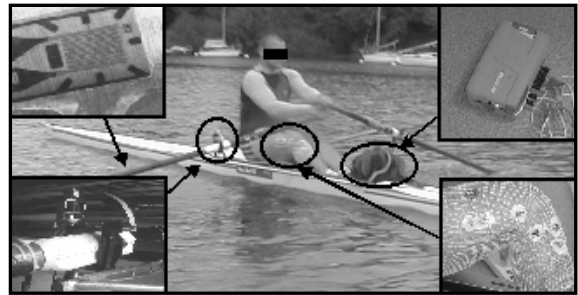


Figure 7 : Instrumentation du skiff. En haut, à gauche : jauges d'extensométrie ; à droite : chaîne d'acquisition. En bas, à gauche : potentiomètre sur la dame de nage ; à droite : électrodes et goniomètres.

Tableau 1 : Niveaux d'activité électrique, puissances moyennes par coup de rame et cadences au cours des quatre séquences de test.

		B1	B2	Départ	Début 500m	Fin 500m
%RMS _{max}	VL	35.7±1.7	46.5±4.3	68.9±11.0	77.0±4.4	80.0±6.2
	VM	37.9±2.9	61.1±5.3	82.5±6.8	93.1±6.3	94.7±5.9
	RF	20.4±1.7	29.9±3.8	42.3±31.6	62.4±10.9	77.8±7.8
Puissance (W)		526.0±15.3	604.0±15.5	1068.1±53.1	953.2±21.9	780.0±33.0
Cadence (cpm)		18	20	40	38	35

L'activation des extenseurs de la jambe est variable selon les caractéristiques des séquences d'entraînement étudiées en aviron. Elle croît avec le niveau d'intensité supposé de l'exercice, tout comme la puissance moyenne pour les séquences B1, B2 et départ. Les VM et VL atteignent des niveaux d'activation élevés en phase de poussée pour les séquences B2, départ et 500m (Tableau 1). En revanche, le RF est peu sollicité (<30% RMS_{max}) en phase 2 lors des séquences de B1 et B2. Toutefois, son niveau d'activation croît lors de l'extension du tronc en phase 3. Les muscles fléchisseurs de la jambe atteignent un niveau d'activation important en phase d'extension, supérieur à leur niveau d'activation observée en phase de flexion des jambes (figure 8).

Les séquences de type B1 et B2 sont codifiées en référence à un niveau de sollicitation cardiaque et à une cadence de coup de rame. L'entraîneur demande au rameur de développer une « puissance » supérieure en B2 (vs. B1). Nos résultats montrent que cette consigne se traduit par une puissance mécanique et un niveau d'activation des muscles « moteurs » (extenseurs des jambes) plus élevés en B2. Sur certaines séquences d'entraînement (départ, 500m), le niveau d'activation atteint une intensité

élevée. Celles-ci permettraient une amélioration des qualités de force maximale et/ou de puissance musculaire, d'ailleurs rapportées par Parkin et coll. (2001). Le niveau d'activation du RF et sa chronologie de mise en action sont variables. En fin d'exercice maximal sur 500m induisant un niveau de fatigue (i.e. baisse de la puissance), on observe une élévation du niveau d'activation du RF, alors que celui des muscles mono-articulaires reste stable. Ceci souligne l'apparition de stratégies de coordination motrice variables selon le type de séquences d'entraînement et fonction de la fatigue provoquée par l'exercice. En phase d'extension des jambes, l'activation des muscles antagonistes (fléchisseurs de la jambe) est supérieure au niveau d'activation de ces muscles en phase 1 de flexion des jambes, où ils sont agonistes (Rodriguez et coll.

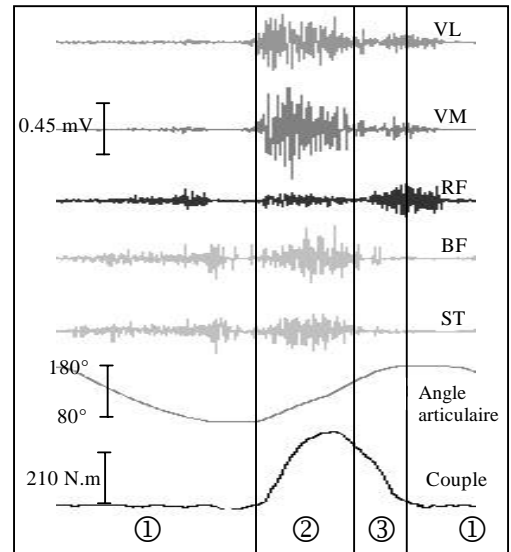


Figure 8 : Chronologie d'activation des muscles en fonction de l'angle articulaire et du couple de force en B2. Phase 1 : flexion de jambes. Phase 2 : extension des jambes. Phase 3 : fin d'extension de jambes, extension du tronc et flexion des bras.

1990). Ce constat constitue une piste de réflexion à approfondir car cette activité élevée limite le couple de force produit par les agonistes au niveau du segment mobilisé si l'on considère que ces muscles sont freinateurs. Toutefois, leur rapport mécanique avec les *gastrocnemius* en condition de chaîne fermée modifierait leur rôle fonctionnel et ainsi ils pourraient être moteur dans l'extension de la jambe (paradoxe de Lombard). Cette étude a été étendue à une population de 8 rameurs de haut niveau en vue de préciser ces premiers résultats. Un article est en cours d'écriture et devrait être soumis à une revue internationale indexée fin 2005.

Nous avons mis en œuvre une étude visant à étudier l'activité des extenseurs et fléchisseurs de la jambe lors d'un test maximal de 2000 mètres sur ergomètre d'aviron. Une meilleure connaissance de l'évolution des niveaux d'activation musculaire permettrait de mieux appréhender le rôle de chacun des muscles sollicités par cette épreuve.

C1-13 Boyas S., Nordez A., Guével A. Evolution des niveaux d'activation des extenseurs et fléchisseurs de la jambe lors d'un 2000 mètres sur ergomètre d'aviron. *XI^{ème} congrès international de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Paris, 2005*

Cette étude est développée dans la partie 1 (chapitre 1–4) car elle s'inscrit dans nos travaux sur l'étude de la fatigue induite lors d'une tâche pluri-segmentaire dynamique. Toutefois, les connaissances émergentes devraient contribuer à améliorer cette situation d'entraînement couramment mobilisée par les rameurs puisqu'ils passent jusqu'à 15% de leur temps total d'entraînement sur cet ergomètre (Boucher, 2002).

Dans le cadre du deuxième axe thématique (ii) une étude a été menée au sein de notre laboratoire à laquelle je n'ai pas collaborée. Elle s'est attachée à comparer les effets de deux méthodes d'entraînement de renforcement musculaire (puissance vs. endurance de force) sur les capacités de production de force chez des rameurs de haut niveau. 15 rameurs répartis en deux groupes d'entraînement se sont entraînés à raison de 2 séances par semaine durant 8 semaines. Cette étude suggère qu'un entraînement en puissance imposé aux rameurs permet d'améliorer la performance en endurance ainsi que le niveau de force maximale des extenseurs du genou en condition statique et dynamique alors que l'entraînement en endurance ne provoque pas d'amélioration de ces qualités musculaires (Remaud et coll. **Effets de deux méthodes de développement de la force sur les capacités de production de force de rameurs de haut niveau.** Colloque « Sport et Recherche en Pays de la Loire », 2005).

Nous avons réalisé une étude s'inscrivant dans le troisième axe thématique (iii). Elle tente de valider la fiabilité des informations mécaniques délivrées par l'ergomètre de marque Concept 2[®], modèle le plus utilisé dans le milieu de l'aviron. Cette étude fera l'objet d'une communication au prochain congrès de l'ACAPS (2005). Récemment, les populations expérimentales ont été densifiées et nous avons soumis une publication sur la base de ces dernières données.

Mesures de la puissance sur ergomètre d'aviron : capteurs mécaniques vs système Concept 2[®]

C2-8 Boyas S., Nordez A., Cornu C., Guével A. Mesures de la puissance sur ergomètre d'aviron : capteurs mécaniques vs système Concept2[®]. *XI^{ème} congrès international de l'Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives, Paris, 2005*

annexe T1-C2-8

Boyas S, Nordez A, Cornu C, Guével A
Power measurements on rowing ergometer : mechanical sensors vs. Concept 2[®] system
International Journal of Sports Medicine. Soumis le 3 août 2005

L'ergomètre d'aviron est utilisé à la fois pour l'entraînement des rameurs et la sélection des équipages nationaux. Actuellement, les ergomètres les plus utilisés sont ceux à résistance par air conçus par Concept 2[®]. Pour ce type d'appareils, la résistance opposée au rameur est créée par la friction entre l'air ambiant et une roue à pales. Les modèles récents sont équipés d'un écran et fournissent aux rameurs, en temps réel, différents paramètres (puissance, cadence, distance, temps aux 500m) dont les valeurs semblent¹² déterminées à partir de la rotation et des propriétés inertielles de la roue et calculées sur l'ensemble du cycle d'aviron. La puissance développée par le rameur au niveau

¹² La société Concept 2[®] s'oppose à communiquer la méthode de calcul des paramètres affichés par son système.

de la poignée est un facteur déterminant de la performance sur ergomètre. Ce paramètre est d'ailleurs utilisé pour incrémenter des tests progressifs et maximaux, et étudier les réponses physiologiques induites par l'exercice (e.g. Bourdin et coll., 2004). Certains auteurs (e.g. Hawkins, 2000) ont calculé la puissance développée par le rameur sur un ergomètre instrumenté à l'aide de capteurs permettant la mesure de la force exercée au niveau de la poignée et la vitesse de déplacement de celle-ci. A notre connaissance, une seule étude s'est attachée à comparer la puissance délivrée par le Concept 2[®] (modèle A) et celle fournie par des capteurs mécaniques (Lormes et coll., 1993). Ces auteurs rapportent une corrélation élevée entre les deux valeurs de puissances comparées en se basant sur un modèle ancien avec un mode de calcul de la puissance délivrée par l'ergomètre qui a depuis évolué. Notre étude avait donc pour but de comparer les valeurs de puissance affichées par l'ergomètre Concept 2[®] (modèle D), avec celles calculées à l'aide de capteurs mécaniques installés sur le même appareil.

Douze sujets volontaires répartis en deux populations ont participé à cette étude. 6 sujets étudiants en STAPS et non-spécialistes en aviron formaient la population « Novices ». 6 sujets pratiquant l'aviron depuis plus de cinq ans constituaient la population « Experts ». Le protocole expérimental comprenait 3 parties : *i*) échauffement (10 min) sur ergomètre ; *ii*) départ (15 coups à allure maximale) ; *iii*) test d'incrémentation de puissance (à partir des valeurs affichées par l'ergomètre), réalisé après 5 minutes de récupération. Ce test débutait à 100 W pour les deux populations. La puissance était incrémentée toutes les 30 s, de 25 W pour les sujets Novices et de 50 W pour les sujets Experts. Le test se terminait lorsque le sujet ne pouvait plus développer la puissance requise pendant 5 coups. Les tests ont été réalisés sur un ergomètre Concept 2[®] - modèle D (Morrisville, VT, USA) instrumenté. Cet ergomètre était équipé d'un capteur de force (placé au niveau de la poignée) et d'un capteur de déplacement (installé sur la chaîne reliée à la poignée). Ces deux capteurs mécaniques, préalablement calibrés, permettaient la mesure de la force produite au niveau de la poignée et les variations de position (i.e. la vitesse) de cette dernière. La puissance était calculée en multipliant la force produite par la vitesse de la poignée puis moyennée sur le cycle complet d'aviron (P_{capteurs}). Les valeurs de puissance affichées par l'ergomètre (P_{ergo}) étaient enregistrées à l'aide du logiciel RowPro™ 1.7 (Digital Rowing Inc, Boston, MA, USA). Les évolutions des valeurs de P_{ergo} et P_{capteurs} ont été comparées à l'aide d'une corrélation de Bravais Pearson (r). Une seconde corrélation a également été réalisée entre P_{ergo} et P_{capteurs} après la suppression des données issues des trois premiers cycles d'aviron pour les départs et pour chaque palier du test d'incrémentation. P_{ergo} et P_{capteurs} ont été comparées à l'aide de tests t de Student.

L'analyse statistique réalisée sur l'ensemble des sujets (figure 9, A) révèle que les données fournies par l'ergomètre sont corrélées à celles calculées à l'aide des capteurs mécaniques ($r = 0.9492$, $p < 0.001$).

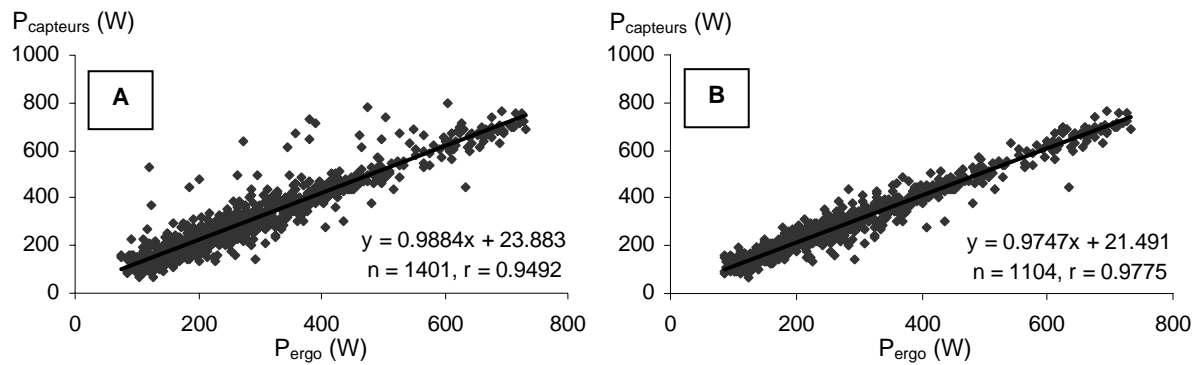


Figure 9 : Corrélations entre P_{ergo} et P_{capteurs} pour l'ensemble des coups (A) et suite à la suppression des trois premiers coups du départ et de chaque palier du test incrémental (B). « n » désigne le nombre de cycles d'aviron pris en considération.

Cependant, les valeurs de P_{ergo} sont significativement inférieures (10%) aux valeurs de P_{capteurs} (271.1 ± 134.5 W vs. 291.87 ± 140.1 W, $p < 0.001$). Pour la seconde analyse (i.e. suppression des trois premiers coups, figure 9, B), la corrélation est plus élevée ($r = 0.9775$, $p < 0.001$), et la différence entre P_{ergo} et P_{capteurs} est de 7.2% (278.80 ± 138.7 W vs. 293.24 ± 138.4 W, $p < 0.001$).

Les valeurs de puissance affichées par le système Concept 2[®] évoluent de façon similaire à celles calculées à l'aide de capteurs mécaniques. Cependant, l'ergomètre semble sous-estimer les valeurs de puissances développées par le rameur, et en particulier lors des variations d'intensité de l'exercice (premiers coups du départ, changements de paliers du test incrémental). Ceci serait dû à la méthode de calcul du système Concept 2[®] basée sur la rotation de la roue et ne prenant pas en compte la force appliquée au niveau de la poignée. En conclusion, l'utilisation du système Concept 2[®] lors de protocoles fondés sur des évolutions de la puissance reste pertinente. En revanche, la sous-estimation de la puissance affichée par l'ergomètre souligne la nécessité de procéder à une correction des valeurs de puissance dans le cadre de certaines applications.

Au sein de notre laboratoire, des études sur cette discipline Olympique sont en projet. Pour exemple, nous avons initié une étude visant à comparer le paramètre $\dot{V}O_{2\text{max}}$ et la relation FC – $\dot{V}O_2$ mesurés lors d'un test progressif et maximal réalisé sur un ergomètre Concept 2[®] et en navigation sur un skiff.

L'ensemble de ces travaux tentent de participer à l'amélioration des connaissances physiologiques et biomécaniques de l'activité, et indirectement pourraient contribuer à faire évoluer les méthodes d'entraînement utilisées dans ce sport à haut niveau. Ce type de transfert entre la production de nouvelles connaissances et leur intégration dans la réflexion visant la mise en œuvre de procédés d'entraînement innovants reste à la charge des entraîneurs.

Nos travaux sur les sports nautiques (disciplines Olympiques) visent conjointement l'émergence de connaissances scientifiques nouvelles relatives aux sollicitations physiologiques inhérentes à ces pratiques sportives peu explorées, et l'apport de connaissances techniques vers l'amélioration des procédés d'entraînement. Ils regroupent des études scientifiques publiées et des travaux « exploratoires » exposés ici car ils se sont appuyés sur une démarche expérimentale. Leur ambition scientifique est modeste. Ils s'inscrivaient dans une démarche d'aide à l'entraînement en cherchant à répondre aux questionnements d'entraîneur et notamment à la validation de procédés d'entraînement innovants. Nous avons conçu un protocole d'évaluation des qualités physiques et des caractéristiques physiologiques des véliplanchistes de haut niveau pour le compte de la FFV, et déterminé une approche méthodologique novatrice pour l'exploration de la fatigue musculaire localisée au cours l'exercice isométrique et concentrique en relation avec les gestes techniques de pumping et de maintien de la position de rappel. Dans le cadre de projets de recherche évoqués dans cette partie, nous avons été amenés à réaliser des développements technologiques. Nous avons créé trois ergomètres de simulation des gestes techniques (pumping ; position de rappel) en collaboration avec la FFV (Préparation Olympique) ; le SRD de l'Ecole Nationale de Voile ; l'IUP d'Evry (département Génie Mécanique). Ces travaux avaient pour objectif de transposer en laboratoire des gestes techniques en sport difficiles et délicats à investiguer en milieu naturel, et de fournir aux entraîneurs des outils d'aide à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des potentialités motrices et techniques des sportifs.

Développements et innovations technologiques

- **Ergomètre de simulation de planche à voile** : étude, conception, suivi du développement – collaborations : IUP d'Evry, E Glaise (stage d'ingénieur) ; Lycée Technique du Rempart, Marseille
- **Instrumentation du gréement d'une planche à voile olympique** : étude, conception, suivi du développement – collaborations : société DPSystèmes (résultat infructueux) ; Service Recherche Développement ENV, L Tournier (ingénieur)
- **Banc de musculation, tirage barre** spécifique aux véliplanchistes : étude, conception, suivi du développement – 1^{er} prototype réalisé en collaboration avec le Lycée Professionnel de Lanrose, Brest ; série limitée réalisée par la société *MultiForm*
- **Ergomètre** pour la réalisation d'une **expérimentation sur la fatigue** musculaire localisée : étude, conception, suivi du développement – collaboration : Lycée Professionnel de Lanrose, Brest
- « **Exerciser** » **spatialisable** : collaborateur au sein de l'équipe en charge du développement et de la mise à l'épreuve de 2 prototypes commandés par le MEDES / CNES
- **Ergomètre de mesure du couple de rappel en voile** (dériveur) : étude – collaboration : Service Recherche Développement ENV, P Iachkine (docteur, ingénieur)
- **Instrumentation d'un ergomètre Concept 2[®]** : étude, développement – cf. Boyas et coll. *IJSM* soumission 2005
- **Participation à :**
 - Définition du cahier des charges du Logiciel de pilotage de l'ergomètre de simulation de PAV
 - Collaborateur dans la définition du cahier des charges d'un logiciel de traitement des données électromyographiques (PROTAGS)

- Consultant pour la réalisation d'un module d'entraînement spécifique à la planche à voile dans le logiciel RHEA 2000, INSEP (C Miller, J Quièvre)

Collaborations – résumé

- Laboratoire de mécanique des fluides de l'Ecole Centrale de Nantes – UMR CNRS 6598 – Dr. JM Kobus et S Barré
- Institut de recherche en génie civil et mécanique, Université de Nantes – UMR CNRS 6183 – Dr. P Casari
- Laboratoire « Performance Sportive et Santé », Université de Bordeaux II – Dr. G Cazorla
- Institut de Myologie (GH Pitié-Salpêtrière), Paris – Dr. JY Hogrel
- Laboratoire de biomécanique et de physiologie, Département de la recherche de l'INSEP, Paris – Dr. C Miller et J Quièvre
- Service Recherche Développement de l'Ecole Nationale de Voile – Dr. P Iachkine et L Tournier
- MEDES GIE « Institut de Physiologie et de Médecine Spatiale » - Dr. A Guell
- Services de médecine du sport – Institut de Médecine du Sport (CHU de Nantes) – Dr. M Potiron Josse
- Centre de Réadaptation Fonctionnelle de Valmante, Marseille – Dr. P Bénézet
- Préparation Olympique, Fédération Française de Voile, Paris – JJ Dubois (entraîneur national) et JP Salou (Directeur des équipes de France)
- Pôle France Aviron des Pays de Loire – B Boucher (entraîneur national et responsable du Pôle)

En cours ...

Boyas Sébastien

Prédiction de la capacité de travail musculaire local en conditions isométrique et dynamique lors de tâches mono- et multi-segmentaires

Doctorat, troisième année en cours (inscription : 1/11/2003)

Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance », UFR STAPS, Université de Nantes

Direction : Pr. Prioux J (30%) – Guével A (70%)

Remaud Anthony

Réponses aiguës et adaptations chroniques de la fonction musculaire induites par deux modalités de contraction musculaire concentrique : isocinétique vs. isotonique

Doctorat, troisième année en cours (inscription : 1/11/2003)

Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance », UFR STAPS, Université de Nantes

Direction : Cornu C (60%) – Guével A (40%)

Averty Anthony

Master 2^{ème} année « recherche » - Sport, Santé, Société

Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance », UFR STAPS, Université de Nantes

Direction : Guével A (100%)

Antérieures

Doctorat

Maïsetti Olivier

Doctorat en Sciences du Mouvement Humain (1998 – 2002)

« Manifestations myoélectriques initiales de la fatigue comme prédicteur de la capacité de travail musculaire local ». Université de la Méditerranée – soutenu le 17 juillet 2002

Direction : Pr. Brisswalter Y (1998 – 2000) – Pr. Legros P (2000 – 2002) ; co-encadrement : Guével A (1998 – 2002)

O. Maïsetti a été recruté en qualité de **Maître de conférences** par l'Université de Créteil et affecté au Département STAPS au 1^{er} septembre 2003

Diplôme d'études approfondies (DEA)

Maïsetti Olivier

DEA STAPS, titre du mémoire : Incidences cardio-vasculaire et métabolique de la configuration des courses en Planche à Voile Olympique. Université de la Méditerranée, 1995

Boyas Sébastien

DEA STAPS, « Physiologie et biomécanique de la performance motrice », titre du mémoire : Influence du niveau d'expertise sur les manifestations myoélectriques de la fatigue induite par le maintien d'une posture pluri-segmentaire - Cas du hiking en dériveur solitaire. Université de Rennes 2, 2003

Mémoires de 2nd cycle – maîtrise

Sont exclusivement mentionnés les mémoires encadrés dans le champ de mon activité de recherche et faisant l'objet d'une approche expérimentale.

Maïsetti Olivier Maîtrise STAPS, mention « entraînement sportif » - sujet du mémoire : Étude des sollicitations cardiovasculaires induites par une séance d'entraînement visant le développement de la puissance maximale aérobie en planche à voile Olympique. Université d'Aix Marseille II, 1994

Glaïse Eric Diplôme d'Ingénieur – Maître - sujet du mémoire : Étude, conception et développement d'un ergomètre de simulation d'exercices physiques spécifiques à la planche à voile Olympique. IUP d'Evry, 1994

Bonadei Brice Maîtrise STAPS, mention « entraînement sportif » - sujet du mémoire : La dépense énergétique d'un joueur de tennis en compétition. Université de Nice Sophia-Antipolis, 1998

Chausse Martial Maîtrise STAPS, mention « éducation, motricité » - sujet du mémoire : Etude électromyographique du geste du tireur au pistolet. Université de Nantes, 1999

Jeoffrey Boris Maîtrise STAPS, mention « management du sport » - sujet du mémoire : Influence de l'exercice physique sur la relation fréquence cardiaque – consommation d'oxygène chez des sportifs de haut niveau. Université de Nantes, 2000

Fabrice Desgeorges Maîtrise STAPS, mention « entraînement et performance motrice » - sujet du mémoire : Etude comparée des effets, sur la fonction neuromusculaire, d'un entraînement concentrique utilisant comme contrainte mécanique externe l'isocinétisme de mouvement vs. une charge constante. Université de Rennes II, 2002

Dousset Emilien Maîtrise STAPS, mention « éducation, motricité » - sujet du mémoire : Caractérisation de la capacité de travail des membres supérieurs chez les véliplanchistes de haut niveau – Etude de l'effet de l'entraînement sur cette qualité musculaire. Université de Nantes, 2004

Rajeaud Maud Maîtrise STAPS, mention « éducation, motricité » - sujet du mémoire : Caractéristiques physiologiques des véliplanchistes de haut niveau – Effet du sexe et de l'entraînement. Université de Nantes, 2004

Guihard Vincent Master 1 « Sport, santé, société », spécialité « Physiologie cellulaire et intégrée des activités physiques et biomécanique du mouvement » - sujet du mémoire : Etude de la relation fréquence cardiaque et consommation d'oxygène lors d'un exercice progressif et maximal en aviron : navigation vs. ergomètre. Université de Nantes, 2005

Société savante

Membre de l'Association des Chercheurs en Activité Physique et Sportive (ACAPS) depuis 1993, j'ai assisté aux congrès scientifiques organisés par cette association de chercheurs : Marseille (1991), Caen (1993), Guadeloupe (1995), Marseille (1997), Valence (2001), Toulouse (2003) et inscrit à Paris (2005).

Participation à des jury de doctorats

Iachkine Paul

Titre : Contribution à la caractérisation et au choix d'éléments de structures composites pour les bateaux de séries Olympiques

Thèse soutenue le 25 novembre 1999, Ecole Centrale de Nantes – Université de Nantes
Directeur de thèse : Pr B Lamy

Annexe T2-4 : convocation au jury

Sylvain Durand

Titre : Etude des mécanismes physiologiques responsables de la vasodilatation locale lors de l'application d'un courant monopolaire continu au niveau de la peau chez l'homme

Thèse soutenue le 10 septembre 2002, Faculté de Médecine – Université d'Angers
Directeur de thèse : P Abraham

Annexe T2-5 : convocation au jury et résumé des travaux

Conventions, subventions

CONVENTIONS

Coordination et rédaction d'une convention entre le DRE du CREPS de Provence et la FFV pour la réalisation d'un projet de recherche (cf. subventions 1992) 1992

Coordination et rédaction de conventions entre le DRE du CREPS de Provence et l' IUP d'Evry pour l'accueil d'un étudiant en stage de fin d'étude; et le Lycée Professionnel de Lanrose et le Lycée Technique du Rempart 1993
1995

Objet : réalisation de la structure de 2 ergomètres (simulation PAV) ; montage et essais d'un ergomètre de simulation de planche à voile

Convention de partenariat entre l'Université de Nantes, la Direction Régionale et Départementale de la Jeunesse et des Sports (DRDJS) et le Comité Régional Olympique et Sportif (CROS) des Pays de la Loire. 2001

Objet : définir entre les parties le cadre général d'une coopération dans des domaines scientifiques d'intérêt commun concernant la compréhension des activités sportives, de l'entraînement sportif et des pratiques de performance 2004
reconduction

Définition d'une convention cadre entre le laboratoire « Motricité, Interactions, Performance » (JE 2438) de l'Université de Nantes (UFR STAPS) et le Service de Médecine du Sport du CHU de Nantes 2005

Objet : coopération dans le développement de projets de recherche défini au sein d'annexes à la convention cadre. Un texte « accord de collaboration » a été arrêté par les deux parties

SUBVENTIONS

Subvention accordée par le Ministère de la Jeunesse et des Sports et la Région Provence Alpes Côte d'Azur 1992

Titre du projet : Evaluation des sollicitations physiologiques en planche à voile Olympique – Incidence des changements réglementaires – Conséquences sur l'entraînement. Porteurs du projet : Guével A, Marini JF

Budget : 180 000 Frs, géré par le Département Recherche Evaluation (DRE) – CREPS de Provence, Ministère des Sports

Subventions accordées par le Ministère de la Jeunesse et des Sports (Direction des sports / Conseil d'Orientation de la Recherche en Sport) et la Fédération Française de Voile

Titre du projet : Analyse des sollicitations physiologiques en voile Olympique. Porteur du projet : Guével A

Programme 1 : Etude de la dépense d'énergie en planche à voile olympique, détermination d'une méthodologie pour son estimation en compétition. 1998

Budget : 25 000 Frs, géré par l'Ecole Nationale de Voile, Ministère des Sports

Programme 2 : Analyse des sollicitations musculaires relatives au maintien de la position de rappel en voile olympique, détermination d'une méthodologie d'estimation du degré d'apparition de la fatigue. 1999

Budget : 49 000 Frs, géré par l'Ecole Nationale de Voile, Ministère des Sports

Subvention accordée sur un programme pluriannuel (deux ans) par la Direction Régionale et Départementale de la Jeunesse et des Sports (DRDJS) 2004

Titre du projet : Etude des adaptations neuromusculaires aux exercices aiguë et chronique. Porteur du projet : Guével A

Etude 1 : Caractérisation des propriétés mécaniques des muscles de l'épaule chez des volleyeurs

Etude 2 : Effets de deux modes d'entraînement concentriques sur le système neuromusculaire
Budget : 10 000 € géré par le Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance », UFR STAPS, Université de Nantes

Subvention accordée par l'Association Française contre les Myopathies (AFM) 2005

Titre du projet : Chronic effects of specific exercises on muscle strength development, neural adaptations and muscle architecture. Porteurs du projet : Cornu C, Guével A

Budget obtenu : 15 000 € géré par le Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance », UFR STAPS, Université de Nantes

Subvention accordée par la Région des Pays de la Loire 2005

Titre du projet : Evaluation et simulation des mécanismes adaptatifs de la fonction musculaire. Porteurs du projet : Cornu C, Guével A

Budget obtenu : 7 584 € géré par le Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance », UFR STAPS, Université de Nantes

Demande de subvention en cours d'examen – réponse à un appel d'offre de la Région des Pays de la Loire 2005

Titre du projet : Création d'un réseau de recherche pluridisciplinaire « RECHERCHE ET SPORT EN PAYS DE LA LOIRE ». Porteur du projet : Guével A – Laboratoire « Motricité, Interactions, Performance »

Durée du projet : 3 ans

Budget demandé : 286 800 € réponse le 16 décembre 2005

Par ailleurs, dans le cadre de mes activités de Directeur d'UFR et récemment de Directeur d'équipe de recherche, j'ai été amené à supporter et aider au montage de dossiers de demande de subventions en direction de notre Université particulièrement, et ceci dans le cadre d'appels d'offre émis par le Conseil Scientifique : Renforcement des équipements de laboratoires ; Plan annuel d'Actions spécifiques du Conseil Scientifique. Nous avons également obtenu une allocation de la communauté urbaine de Nantes « Nantes Métropole » pour une étudiante en thèse (3^{ème} année).

Enfin, certaines participations à des appels d'offre ont été infructueuses, comme : CNRS GDR Sport 1996, ACI (Actions Concertées Incitatives) 2000, AFM 2004, MiRe de la Poste 2004. Ces implications dans divers appels d'offres attestent de notre volonté de capter des sources de financement plus diversifiées. Le succès enregistré sur l'appel d'offre AFM 2005 est de ce point de vue encourageant.

Parcours

Le système français de l'enseignement supérieur attend des enseignants – chercheurs qu'ils prennent part au fonctionnement et développement de leur Unité de Formation et de Recherche et/ou de leur Université. Pour ce faire, l'investissement de tous dans des tâches administratives apparaît nécessaire. La création récente de certaines composantes en STAPS, de fait sous dotées en potentiel d'encadrement, génère une situation où les charges administratives à assumer ne peuvent reposer que sur un nombre limité de personnels. Dans un tel contexte, la prise en charge de responsabilités administratives peut devenir une condition indispensable au développement et à la structuration d'une UFR. A Nantes, l'UFR STAPS accueillait 1465 étudiants en 2000 pour 8 enseignants – chercheurs et 23 enseignants agrégés en EPS. Telle était la situation ... « critique ».

Ce chapitre tente modestement de faire état d'expériences accomplies dans ce secteur ayant un lien direct avec le développement de la recherche, sa structuration au sein d'une UFR nouvellement constituée et le management des personnels ainsi que l'administration de dossiers relatifs aux projets structurants.

Mon parcours de formation et quelques expériences professionnels antérieures m'ont permis progressivement de me bâtir une compétence dans les domaines de l'administration, la conduite de projets, le management des personnels, etc. Je rappellerai ici certains éléments qui m'apparaissent déterminants dans mon cheminement vers des fonctions administratives et de direction dans l'enseignement supérieur.

En 1991, au cours de mon service national, je me suis inscrit à distance en maîtrise STAPS intitulée « Administration, Gestion et Animation des institutions sportives et socioculturelles » (obtenue en juin 1992). Je souhaitais à cette époque acquérir des notions dans les domaines recouverts par le programme pédagogique délivré au sein de cette formation dispensée à l'UFR STAPS de Caen en association avec l'Institut d'administration des entreprises (IAE) de Caen. J'ai un temps souhaité intégrer l'IAE d'Aix en Provence, pour réaliser un DESS dans le domaine de l'administration des entreprises. Puis, mon inscription en thèse en octobre 1992, associé au contrat d'allocataire – moniteur de l'enseignement supérieur, m'ont conduit à écarter ce projet.

En possession du BEES 1^{er} degré (voile) dès 1988, j'ai recherché un emploi saisonnier de chef de base nautique. J'ai été recruté pour assumer cette responsabilité par le Club de voile de Cabourg (Normandie), une structure saisonnière dévolue à l'enseignement de la voile légère. Ainsi, durant les été 1988 et 1989, il m'a été confié la gestion matérielle du club, la responsabilité du recrutement de l'équipe de moniteurs (12 personnes par mois) et leur encadrement. Cette expérience professionnelle m'a permis de découvrir certains savoir-faire indispensables pour encadrer et diriger des personnels saisonniers.

Au cours de ma thèse, j'ai été élu représentant des étudiants de troisième cycle au sein de cette formation universitaire à l'UFR STAPS de l'Université d'Aix Marseille II. J'ai aussi intégré le conseil de l'Ecole Doctorale « sciences de la vie et de la santé de Marseille » en qualité de membre élu représentant des étudiants, et pris part à l'organisation des Journées de l'Ecole Doctorale en 1993 et 1994.

Entre 1992 et 1995, j'occupais la fonction de moniteur de l'enseignement supérieur et à ce titre j'ai participé au plus grand nombre de réunions organisées au sein de l'UFR STAPS ouvertes aux enseignants. L'UFR STAPS de Marseille était à cette époque dirigée par le Pr. Michel Laurent, et mon tuteur pédagogique était le Pr. Pierre Therme.

J'ai ensuite assumé des activités professionnelles formatrices lorsque j'ai été recruté par le MEDES en qualité d'ingénieur en charge d'un projet de développement d'un ergomètre. En effet, ce contrat limité dans sa durée, m'a toutefois permis de découvrir la responsabilité de projet. De plus, le contexte dans lequel ce contrat s'est déroulé m'a obligé à encadrer des personnels oeuvrant technologiquement sur celui-ci et éprouvant des difficultés à s'entendre et s'accorder sur des aspects techniques déterminants pour l'avancement de ce projet. Ainsi, ces six mois d'activité se sont avérés d'une grande richesse sur le plan des savoir-faire acquis en matière de management d'une équipe de collaborateurs.

Au terme de ce contrat, j'ai occupé, entre avril et septembre 1996, la fonction de Préparateur physique de l'équipe de France de Voile Olympique (pour la Fédération Française de Voile). J'ai structuré, conçu et suivi la préparation physique des sélectionnés français en voile pour les Jeux Olympiques d'Atlanta. J'ai fait partie de la délégation française (FFV) durant ces JO. Cette expérience m'a permis, au delà de ma mission technique, d'observer le fonctionnement d'un groupe d'entraîneurs et de cadres techniques affectés à des missions spécifiques, au service de sportifs sélectionnés, dont l'ambition était de réaliser une performance du plus haut niveau lors du rendez-vous compétitif le plus convoité dans cette discipline sportive. J'ai pu retirer de cette période des enseignements utiles pour faire face à certaines problématiques d'encadrement de personnels et de « dynamique d'équipe » rencontrées par la suite.

Cette année 1995 – 1996, sous contrat de travail établi par une entreprise et une fédération, m'a permis de découvrir des milieux professionnels dans lesquels j'aspirais à évoluer suite à mes études doctorales à cette époque. Au terme de ces contrats, j'ai dressé le bilan de ces expériences, et je me suis résolument tourné vers l'enseignement supérieur et le métier d'enseignant – chercheur. C'est alors que j'ai candidaté pour des emplois d'ATER, poste que j'ai occupé entre 1996 et 1998.

Recruté au Département STAPS de l'Université de Nantes en 1998, pour une prise de fonction au 1^{er} septembre, j'ai rejoint cette composante et proposé mes services pour la prise en charge de responsabilités pédagogiques. La direction m'a alors confié la co-responsabilité pédagogique de la première année de DEUG STAPS en 1999 – 2000.

Directeur de l'UFR STAPS – Université de Nantes
entre le 12 janvier 2000 et le 11 janvier 2005

Au cours de mon mandat (5 ans) de Directeur d'UFR, j'ai animé une équipe de direction qui a mené bon nombre d'actions, créé et mis en œuvre des éléments de structuration de l'UFR, développé certains projets aboutis pour la plus part au terme du mandat.

Les temps clés de ce mandat auront été (i) la définition et mise en œuvre d'une Politique de recherche pour la composante, intégrant des stades et organes de structuration (e.g. JE 2438 « Motricité, Interactions, Performance »), (ii) la définition, négociation et ouverture du contrat quadriennal 2004 – 2007 intégrant une nouvelle offre de formation pour la composante au format européen « LMD » et la labélisation d'une équipe de recherche, (iii) la mise en fonctionnement des conseils de l'UFR, la création d'un conseil Pédagogique, la création d'un bureau de scolarité, la création de commissions et/ou groupes de réflexion en charge de dossiers spécifiques, (iv) le suivi du programme d'extension des locaux, (v) la définition d'un programme d'action pour l'UFR STAPS en lien direct avec le projet d'établissement 2004 – 2007 (annexe T2-12).

Directeur de l'équipe de recherche « Motricité, Interactions, Performance » (JE, 2438)
depuis le 1^{er} septembre 2004

Suite au départ de Jacques Prioux (Pr.) à la date du 31 août 2004, jusqu'alors Directeur de l'équipe de recherche, le Président de l'Université (Pr. François Resche) m'a demandé d'assumer la direction de cette équipe tout juste labélisée, et soumise à une évaluation à mi-parcours (début 2006) imposée par notre Ministère de tutelle au moment de la signature du contrat. J'ai accepté cette

responsabilité et invité les enseignants – chercheurs titulaires à nous répartir l'ensemble des dossiers relatifs au fonctionnement de notre équipe. Ainsi, les responsabilités et les charges sont partagées et le développement et fonctionnement de la JE repose sur la totalité des membres titulaires de ce groupe. Cette nouvelle impulsion m'est apparue indispensable afin de nous impliquer tous résolument dans la conquête d'une prolongation de notre labélisation en qualité de JE pour la suite et fin de ce contrat quadriennal.

Implications dans le développement de la recherche

Définition et mise en œuvre de la Politique de recherche de l'UFR STAPS (Université de Nantes)

En février 2000 et conformément à l'engagement pris lors de ma candidature à la fonction de Directeur de l'UFR STAPS (janvier 2000), j'ai animé une réflexion collégiale visant à définir la politique de recherche de l'UFR STAPS. Le texte fondateur a été soumis et approuvé par le conseil d'administration de l'UFR en novembre 2000, pour une mise en œuvre immédiate (Texte : « Politique scientifique de l'UFR STAPS 2000 – 2004 » ; annexe T2-13). Le programme scientifique reposait sur deux axes thématiques : (1) « Adaptations physiologiques et psychologiques liées à la pratique des APS » ; (2) « Processus et dynamiques de transformation des APS et leurs institutions ». L'UFR s'était fixée un ordre de priorité dans le soutien accordé à ses axes thématiques en vue de favoriser le développement de la recherche et l'émergence d'une équipe labellisée. Le groupe d'enseignant – chercheur, auquel j'appartenais, en lien avec l'axe thématique prioritaire « Adaptations physiologiques et psychologiques liées à la pratique des APS » a déposé une demande de reconnaissance en qualité d'équipe en émergence. Ce statut lui a été accordé par l'Université en juin 2001 (EE n°102). L'axe secondaire était structuré de manière à favoriser l'intégration des enseignants – chercheurs animant celui-ci, dans des laboratoires reconnus de notre Université : Centre Nantais de Sociologie – CENS (EA 3260) ; Droit et changement social (UMR CNRS 6028). J'ai présidé la commission scientifique de l'UFR constituée en 2001, jusqu'en 2003. A ce titre, j'ai pu être garant de la mise en œuvre de la politique de recherche au sein de la composante.

Création d'une équipe de recherche

Jeune équipe « Motricité, Interactions, Performance » 2438
(contrat quadriennal 2004 – 2007)

J'ai contribué activement à la mise en œuvre d'un projet de création d'une équipe de recherche au sein de l'UFR STAPS, ainsi qu'à la définition d'un programme de recherche qui nous a permis d'obtenir une reconnaissance en qualité d'équipe en émergence (EE n°102) par l'Université de Nantes

(juin 2001 – déc. 2003). Dès sa création, cette équipe visait une reconnaissance Ministérielle dans le cadre du contrat quadriennal 2004 – 2007, ce qu'elle a obtenu en janvier 2004. Le programme scientifique est joint en annexe (T2-2) dans sa version résumée.

Initiateur du premier Colloque « Sport et Recherche en Pays de la Loire »

Annexe T2-14 – Plaquette de présentation et programme

Le sport, la performance sportive et ses conditions de réalisation constituent des objets d'étude inscrits au titre de thématiques de recherche de laboratoires français et étrangers. Une activité féconde se développe dans ce domaine en région des Pays de la Loire, au sein d'une multitude d'équipes de recherche. Les chercheurs visent l'enrichissement de la connaissance alors que les entraîneurs et sportifs poursuivent un objectif pragmatique d'amélioration de leurs savoir-faire pratiques et technologiques en vue d'élever le niveau de la performance sportive de ces derniers.

La rencontre entre ces deux milieux permet alors un transfert de connaissances scientifiques vers des connaissances pratiques et technologiques au service des entraîneurs. Pour que cette étape se réalise, il paraît indispensable d'organiser ces interactions et échanges afin que ces acteurs se connaissent, se comprennent et développent des projets coopératifs porteurs. De plus, la recherche en sport mérite de s'organiser en vue de réunir des équipes aux approches scientifiques différentes et complémentaires sur des objets d'étude communs. Ce niveau de structuration et de coopération peut contribuer à créer une dynamique de recherche pluridisciplinaire lorsque ceci peut constituer une aide à la résolution de certains questionnements et/ou hypothèses scientifiques. Des exemples de collaborations scientifiques regroupant des approches scientifiques et disciplinaires différentes sont déjà à l'œuvre dans notre région (physiologie et mécanique, sociologie et droit, physiologie et psychologie, etc.) et démontrent le caractère utile et pertinent de cette démarche.

Sur la base de ce constat, j'ai proposé au Directeur Régional et Départemental de la Jeunesse et des Sports, Jacques Thiolat, de nous engager conjointement, et avec le partenariat du Comité Régional Olympique et Sportif, sur la création d'un réseau structurant d'une part les liens entre chercheurs au niveau régional et aussi les relations entre ce milieu et celui de l'entraînement. Nous avons rapidement opté pour enclencher cette dynamique en créant le premier Colloque intitulé « Sport et Recherche en Pays de la Loire », et ainsi créer une première rencontre visant à réunir d'une part l'ensemble des acteurs du milieu de la recherche de notre région, et d'autre part les acteurs du milieu de l'entraînement ou de la préparation à la performance.

Les objectifs assignés à ce colloque étaient (i) de créer un réseau Régional (Pays de la Loire) intitulé « *Sport et Recherche* » visant une mise en relation des chercheurs impliqués sur des thématiques dont les retombées peuvent avoir un impact direct ou indirect sur le sport et le mouvement sportif, et des acteurs du mouvement sportif ; (ii) d'établir une stratégie de coopération entre les chercheurs et les acteurs du mouvement sportif afin d'organiser et de favoriser la diffusion de la

connaissance scientifique émergente, de développer des projets de recherche portés conjointement par des équipes de recherche et des structures d'entraînement.



Objectifs d'un futur Réseau Régional des Pays de Loire « Sport et Recherche »

- créer une dynamique de travail en collaboration entre les acteurs du mouvement sportif et les chercheurs
- développer, favoriser la recherche pluridisciplinaire sur l'objet : « sport » et les structures institutionnelles (ou autres) associées
- regrouper et diffuser les connaissances des recherches développées par l'ensemble des laboratoires installés en région et portant sur cet objet
- organiser et favoriser les échanges de savoirs, de connaissances, et valoriser la logique de rationalité dans la préparation de la performance
- mutualiser les savoirs-faire, les outils, etc.
- coordonner des projets collectifs ou des actions menées par les laboratoires notamment lorsqu'elles s'adressent à une discipline sportive
- développer des projets coopératifs ambitieux et thématiques en regroupant des équipes
- mobiliser les partenaires publics et privés pour encourager une stratégie de recherche dans ce domaine en région Pays de la Loire

Le premier colloque « Sport et Recherche en Pays de la Loire » s'est tenu les 24 et 25 mars 2005 à la Cité des Congrès de Nantes. Il a réuni 320 participants et reçu un accueil très positif par une grande diversité de participants et invités (entraîneurs, cadres techniques, dirigeants des clubs et ligues, chercheurs, personnalités politiques, etc.). La plaquette de présentation de ce Colloque ainsi que son programme peuvent être consultés en annexe T2-14. De plus, nous avons réalisé des actes sous la forme d'un CDrom diffusé à l'ensemble des participants suite à ce colloque. Il regroupe un résumé de trois pages par communication orale et affichée. Ainsi, ce document représente déjà une base d'information intéressante qui permet de voir émerger les orientations thématiques de la recherche sur le sport en Région des Pays de la Loire. Par ailleurs, nous avons enclenché la démarche de création du réseau « Sport et Recherche en Pays de la Loire » qui devrait regrouper pas moins de huit laboratoires labélisés dont trois structures de niveaux UMR CNRS.

Porteur de projet de création d'un réseau régional pluridisciplinaire

« RECHERCHE ET SPORT EN PAYS DE LA LOIRE » (RSPDL)

Annexe T2-15 – Accusé de réception / appel d'offre Régional « SHS »

La création d'un réseau régional des équipes et enseignants – chercheurs et chercheurs impliqués dans la recherche sur le « sport » comme objet de recherche, est une initiative qui apparaît aujourd'hui comme nécessaire en Pays de la Loire. L'objectif est ici d'initier la création d'un réseau régional pluridisciplinaire « RECHERCHE ET SPORT EN PAYS DE LA LOIRE » destiné à permettre une mise en relation régulière des chercheurs impliqués sur le « sport », dans une perspective d'échange scientifique disciplinaire ou pluridisciplinaire ; à organiser et favoriser la diffusion de la connaissance scientifique émergente et la valorisation de la recherche en Pays de la Loire ; à développer une stratégie de coopération et de développement de projets en relation avec les milieux sportifs et structures associées, par des actions de partenariat ou de conseil.

Le premier colloque « SPORT ET RECHERCHE EN PAYS DE LA LOIRE » a permis de mettre en valeur le potentiel régional des laboratoires qui s'investissent dans ce domaine de recherche. Cette manifestation a donné de la visibilité à ce secteur d'activité. Elle a fait émerger l'intérêt et l'attente des acteurs du mouvement sportif à l'égard de la recherche appliquée au sport, ainsi que l'utilité d'une coordination entre les acteurs de la recherche.

Ce projet s'inscrit pleinement dans une perspective de structuration de la recherche en région, dans un cadre pluridisciplinaire, et vise la mobilisation des activités de recherche des chercheurs travaillant sur le « sport ». En phase de création du réseau, celui-ci mobilise et réunit déjà six équipes de recherche labélisées et deux centres médico-sportif, pas moins de 35 enseignants – chercheurs et une vingtaine de doctorants. Les travaux des équipes partenaires de ce réseau constitueront la production scientifique de ce réseau. A terme, des orientations thématiques discutées et définies par le réseau pourraient être mises en avant et portées comme prioritaire dans le cadre des activités

scientifiques affichées par celui-ci. Il devrait permettre de favoriser la connaissance mutuelle des équipes en créant des organes et outils de structuration au service du fonctionnement du réseau et en vue d'atteindre les objectifs fixés. Les productions scientifiques seront regroupées et archivées au sein du réseau. Le montage de projets communs entre des équipes (pluridisciplinaires ou pas) sera favorisé. Des séquences de travail collectif sous la forme de conférences thématiques seront organisées afin de promouvoir la confrontation d'idées et de points de vue issus de plusieurs équipes sur un thème, sur des travaux réalisés, sur des projets élaborés, etc. La mutualisation de certaines ressources (humaines, matériels) devraient alors émerger de cette organisation et ainsi soutenir la réalisation de projets de recherche au sein du réseau. Le réseau veillera particulièrement à diffuser et valoriser les travaux réalisés.

A terme, le réseau sera élargi et intégrera ce qu'il convient d'appeler les utilisateurs ou « usagers » des résultats de la recherche sur le « sport », les acteurs du mouvement sportif. Ce réseau recherchera aussi à mobiliser un ensemble de partenaires institutionnels, mais aussi économiques et industriels. Outre, ces activités de structuration, production scientifique, d'organisation de rencontres scientifiques, il organisera conjointement avec le mouvement sportif un second colloque « SPORT ET RECHERCHE EN PAYS DE LA LOIRE » en 2007.

Ce projet de création du réseau a été présenté à la région des Pays de la Loire dans le cadre d'une réponse à un appel d'offre qu'elle a émis en octobre 2005.

Responsabilités collectives au sein de l'UFR STAPS

Université de Nantes

- Président de la Commission Scientifique de l'UFR STAPS entre 2001 et 2003
 - Membre de la commission de recrutement des personnels enseignants du seconde degré à l'UFR STAPS de Nantes entre 2001 et 2005
 - Membre de l'équipe d'émergence puis Jeune équipe « Motricité, Interactions, Performance » entre 2001 et 2005
-
- Membre du CA de l'UFR STAPS depuis février 2005

 - Président du jury de la Licence « entraînement sportif » en 2004 et 2005
 - Président du Jury du Baccalauréat en 2005, série S, Académie de Nantes
 - Membre du Jury du Master « Sport, santé, société », spécialité « Physiologie cellulaire et intégrée, modélisation du mouvement » en 2005
 - Président du jury de première année de DEUG STAPS entre 2000 et 2003

Responsabilités collectives au sein de l'Université de Nantes

- Membre du CA de l'Université 2000 – 2004
- Membre de la CSE (74^{ème} section) de l'Université de Nantes depuis 2002
- Membre de deux commissions de réflexion (i.e. « recherche », « structuration administrative et décentralisation ») mises en place par le Président de l'Université de Nantes, et chargées de contribuer à la définition du projet d'établissement 2004 – 2007

Responsabilités collectives au sein de composantes extérieures

- Membre de la CSE (74^{ème} section) de l'Université de Nice depuis 2002
- Membre de la CSE (74^{ème} section) de l'Université de Rennes 2 entre 2001 et 2003

Parcours

Dans le cadre de mon service national, j'ai occupé la fonction d'enseignant en Education Physique et Sportive (EPS) au Lycée militaire d'Aix en Provence (1991 – 1992). J'ai eu à assumer la préparation de cycle d'apprentissage de multiples pratiques sportives et d'enseignements de valeurs éducatives. J'ai dispensé ces enseignements à des élèves des classes de secondes et premières. Je suis intervenu auprès d'élèves en classes préparatoires aux concours des grandes écoles avec comme mission de les préparer aux épreuves physiques des concours militaires. Cette mission recouvrait la nécessité de proposer aux élèves des contenus d'entraînement à la fois adapté à leur potentiel physique, aux exigences des épreuves des concours et de mobiliser des procédés d'entraînement pertinents et efficaces dans ce contexte.

A cette période, je suis intervenu comme formateur auprès d'élèves en formation de brevets d'état d'éducateur sportif (tronc commun) sur des contenus d'enseignements théoriques centrés sur les notions de « bio-énergétique appliquée au sport ».

Puis, j'ai été recruté en qualité de Moniteur de l'enseignement supérieur entre 1992 et 1995, par l'UFR STAPS de l'Université d'Aix Marseille II. Je dépendais du Centre d'Initiation à l'Enseignement Supérieur (CIES) des académies d'Aix-Marseille, de Nice et de Corse.

Monitorat de l'enseignement supérieur

UFR STAPS - CIES des académies d'Aix-Marseille, de Nice et de Corse
Rapport de monitorat, juin 1995
Annexe T2-6, tome 2

Service d'enseignements :

Trois années universitaires (1992 à 1995) durant lesquelles j'ai assumé 64 heures équivalents travaux dirigés (TD) dans les secteurs disciplinaires suivants :

- méthodologie de l'entraînement sportif
- pratique de la voile légère

Le rapport en annexe (T2-6) fait état du bilan positif dressé au terme de ces trois années comme enseignant dans l'enseignement supérieur. J'ai bénéficié au cours de ce contrat de formations délivrées par le CIES qui visaient à nous apporter des outils et des méthodes nécessaires pour évoluer dans ce métier. Cette formation pratique s'est avérée enrichissante et adaptée aux besoins et questionnements émergents au cours de ces premières expériences d'enseignant dans le supérieur.

J'ai ensuite occupé la fonction d'attaché temporaire d'enseignement et de recherche (ATER) à l'Université de Nice Sophia Antipolis durant deux années (1996 – 1997 et 1997 – 1998).

ATER

Université de Nice Sophia Antipolis
Annexe T2-7 (attestation : P. Marconnet)

Lors de ma première année de contrat (service : 192 heures TD), j'ai été affecté à Toulon, antenne délocalisée de la Faculté des Sciences du Sport de Nice. J'ai pris en charge des enseignements prioritairement théorique en premier cycle :

- Physiologie (fonction cardiovasculaire) [CM, TD]
- Biomécanique et ergométrie [CM, TD]
- Pratique des sports collectifs [TD]

Au cours de ma seconde année de contrat (service : 192 heures TD), je suis resté en poste à la Faculté des Sciences du Sport de Nice afin de prendre en charge des enseignements prioritairement théoriques, en premier et seconde cycle, dans les domaines suivants :

- Physiologie (fonctions neuromusculaire et cardiovasculaire) [TD]
- Biomécanique et ergométrie [CM, TD]
- Analyse du mouvement [CM, TD, TP]

Au terme de ces années, j'ai dispensé au total 627 heures de cours (équivalent TD) dans l'enseignement supérieur et 98 heures pour diverses institutions (CREPS, FFV, Ligue de Voile). Ce bilan est développé en annexe T2-8. Ces premières années d'expériences dans l'enseignement supérieur m'ont amené à définir et construire mon profil de compétences dans ce secteur.

Qualifié aux fonctions de Maître de conférences en 1998 par le CNU 74^{ème} section, j'ai alors postulé sur neuf emplois de Maître de conférences publiés cette même année, en phase avec mes compétences d'enseignant et mes aspirations dans le domaine de la recherche. J'ai été classé premier par la CSE 74^{ème} section de l'Université de Nantes et recruté au 1^{er} septembre 1998 pour occuper les fonctions de Maître de conférences au Département STAPS devenu UFR en novembre 1998.

Maître de conférences

UFR STAPS – Université de Nantes
Annexe T2-9

Depuis sept années universitaires, j'interviens dans les domaines de la physiologie et biomécanique prioritairement et à tous les niveaux du plan de formation, ainsi que sur des notions de méthodologie de l'entraînement, notamment depuis l'ouverture en 2000 d'une Licence mention

« entraînement sportif ». J'ai réalisé mon service d'enseignement de 192 h TD durant quatre années. J'ai demandé et bénéficié d'un allègement de mon service, réduit à 140 h (équivalent TD), ces dernières années au motif que j'assumais par ailleurs des charges administratives ouvrant droit, dans notre université, à cette réduction de service d'enseignement.

En annexe T2-9 sont présentés deux exemples de services d'enseignement, l'un couvrant l'année 2003 – 2004 intégrant une décharge partielle de service, et le second pour l'année 2005 – 2006 (déclaration prévisionnelle).

Depuis 2002, j'interviens dans la formation de DEA en STAPS intitulé « Physiologie et biomécanique de la performance motrice » dans le cadre de l'option d'Angers coordonnée par le Pr. Jean Louis Saumet. Mon intervention s'intitule : « Fatigue musculaire localisée et prédiction de la capacité de travail musculaire » (3 heures CM).

Suite à l'ouverture de la nouvelle offre de formation en STAPS au sein du RUOA, un Master « Sport, santé, société » a été créé. Il regroupe six spécialités dont l'une à orientation recherche intitulée « Physiologie cellulaire et intégrée des activités physiques, modélisation du mouvement » dans laquelle la responsable de cette formation, Pr. Arlette Delamarche, m'a confié un enseignement (3 heures CM) intitulé : « Electromyographie de surface », que j'ai dispensé en 2004 – 2005 et qui est reconduit pour la durée du contrat quadriennal.

Profil – enseignement :

Physiologie musculaire et de la fonction cardiovasculaire

Biomécanique musculaire

Ergométrie

Méthodologie de l'entraînement sportif

Formation et initiation à la recherche

Pratique de la voile

A tous niveaux du plan de formation universitaire « LMD »

Implication dans des activités de conception de formations universitaires

Licence STAPS, mention « entraînement sportif »

(ouverture en septembre 2000)

Annexe T2-10, plaquette de présentation de la formation

Dans le cadre de la révision de l'offre de formation pour la signature du contrat quadriennal 2000 – 2003, j'ai proposé que l'on étudie la faisabilité et pertinence de l'ouverture d'une nouvelle

année de formation : la licence STAPS mention « entraînement sportif ». L'offre de formation de l'UFR était à cette période réduite à deux mentions en second cycle (i.e. « éducation, motricité » et « management du sport ». J'ai animé la réflexion au sein d'un collectif d'enseignants – chercheurs qui a conçu ce dispositif de formation et défini les contenus d'enseignement associés. J'ai ensuite eu la charge de rédiger le dossier de demande de création de cette année de formation, soumis pour approbation aux conseils de l'Université de Nantes, puis à notre Ministère de tutelle. Celle-ci a été habilitée et la formation fût ouverte en septembre 2000. Mon élection à la Direction de l'UFR STAPS le 12 janvier 2000 m'a imposé de confier la charge de la responsabilité pédagogique de cette année d'étude à Jacques Prioux (MC).

Diplôme d'Université « Préparation physique et mental dans les sports nautiques »

Annexe T2-11, plaquette de présentation de la formation

Nous avons imaginé et conçu une offre de formation de type Diplôme d'Université (DU) dans les domaines de la Préparation physique et mentale. Le choix d'une spécialisation de cette formation vers les sports nautiques a été guidé par les compétences des personnels de l'UFR STAPS, les priorités Régionales en matière de développement des activités sportives (à l'époque : sports nautiques, équitation et sports automobiles) et notre soucis de positionner cette nouvelle formation dans une carte nationale des formations en STAPS qui présentait déjà des formations équivalentes dans les sports athlétiques et les sports collectifs. La demande d'habilitation de ce diplôme d'université a été soumise aux conseils de l'Université en 2001 et l'habilitation obtenue.

Les objectifs de cette formation découlent directement du positionnement affirmé du DU « Préparation physique et mentale dans les sports nautiques » comme lieu de *concentration* et de *diffusion* des connaissances scientifiques et des savoir-faire les plus récents dans les domaines des sciences de la vie et des sciences humaines appliquées à l'entraînement. Aussi, il s'agit de :

- Proposer à des entraîneurs expérimentés ou en devenir, une formation complète dans le domaine de la préparation physique et mentale de pratiquants des sports nautiques qu'ils soient de haut niveau, confirmés ou débutants.
- Proposer une formation spécialisée qui s'intéresse aux déterminants de la pratique sportive spécifiques aux sports nautiques (aviron, canoë-kayak, ski nautique, voile...).
- Donner la possibilité d'affiner et de transformer les pratiques de l'entraînement par l'introduction de grilles de lecture et d'analyse, s'appuyant sur les connaissances scientifiques les plus récentes en la matière.
- Développer, grâce à une familiarisation avec les problématiques scientifiques, les conditions d'une approche expérimentale et critique des différentes dimensions de l'activité d'entraînement dans les sports nautiques.

(*extrait du dossier d'habilitation – avril 2001*)

Toutefois, par manque de candidats inscrits, cette formation n'a jamais été ouverte. Je reste convaincu à la fois de la pertinence de ce type de diplôme et de son utilité dans le domaine de la formation continue et initiale. Il me semble que les raisons qui ont conduit à cet échec sont : le coût excessif de cette formation et le manque de promotion faite autour de cette offre nouvelle de formation. Nous aurions pu et dû résoudre ces deux difficultés. Ce projet pourrait être relancé dans les années à venir, sous cette forme (DU) ou celle d'un diplôme national professionnel.

Offre de formation 2004 – 2008

Bascule vers le système européen « LMD » et création d'un Master STAPS « Sport, santé, société » au sein du RUOA

J'ai impulsé et coordonné la réflexion nécessaire pour la révision de l'offre de formation en vue du changement de contrat quadriennal (2004 – 2007). Dès juin 2002, nous avons initié une réflexion collective qui nécessitait, outre la conception d'une nouvelle offre de formation, de penser ce futur dispositif dans un cadre réglementaire nouveau, celui du schéma européen de l'enseignement supérieur « LMD ». Il a alors fallu intégrer l'ensemble des nouveaux textes réglementaires, des directives ministérielles et des orientations politiques de notre Université. Le texte inséré ci-dessous constituait l'argumentaire adressé au Président de l'Université, aux membres des conseils de l'Université, puis à notre Ministère. Il venait en avant propos des dossiers spécifiques à chacun des diplômes pour lesquelles une demande de renouvellement ou de création était formulée.

Projet de Plan de formation UFR STAPS – Université de Nantes Elaboration du contrat quadriennal 2004 – 2007

Ce document présente le projet de l'UFR en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives en matière d'offre de formation, dans le cadre de l'élaboration du contrat quadriennal 2004 – 2007. Ce projet a fait l'objet d'une réflexion collective et approfondie au sein de l'UFR qui s'est déroulée entre les mois de juin et octobre 2002. Les acteurs engagés dans ce travail se sont attachés à concevoir un plan de formation « structuré, cohérent, dans lequel chaque année d'études trouve logiquement sa place dans un parcours pédagogique global proposant diverses orientations possibles », tout en tenant compte de deux éléments essentiels : d'une part, le schéma européen des formations dans l'enseignement supérieur (Licence – Master – Doctorat, L M D), et d'autre part, les moyens structurels et en personnels de la composante (comme le soulignait la note de cadrage du 5 juin 2002 de Monsieur le Président de l'Université). La conception de ce projet fut guidée par le souci de renforcer la qualité des formations, ainsi que cela est préconisé dans le schéma de développement de l'Université, et elle s'est attachée à suivre les directives ministérielles relatives au schéma européen des formations de l'enseignement supérieur, lorsque celles-ci apportaient un éclairage suffisant pour orienter la réflexion.

Ce projet doit être situé dans la dynamique de développement dans laquelle est notre UFR, en tant que composante récente de l'Université de Nantes (le statut d'UFR fut obtenu en novembre 1998, après avoir été successivement Division puis Département depuis 1991). Cette composante a fait face à une croissance rapide de ses effectifs étudiants entre 1995 (635 étudiants) et 2000 (1472 étudiants). La stabilisation récemment observée des effectifs inscrits en STAPS ne traduit cependant pas une stabilisation de la demande vers les formations dispensées à l'UFR STAPS. Elle fut obtenue grâce à une politique particulière conduite en accord avec la Présidence de l'Université. Cette politique a consisté à limiter à 300 étudiants le nombre des étudiants admis en première inscription en DEUG STAPS 1^{ère} année, et à limiter les transferts « entrants » d'étudiants provenant d'autres universités. Elle a aussi consisté à proposer un plan de formation limité à trois filières en licence (sur cinq proposées par le plus grand nombre d'UFR STAPS de même taille), et se réduisant à deux filières en maîtrise, avec une absence d'offre de formation au niveau cinq (cf. problèmes structurels et de sous encadrement importants).

Dans l'éventualité où cette limitation (délibérée) de la croissance des effectifs étudiants était levée (afin, notamment, de mieux répondre à nos missions de service public dans le domaine de l'offre de formation destinant aux métiers du sport et de l'éducation physique), le nombre total d'étudiants à l'UFR STAPS pourrait atteindre 1800 à 2000 (selon une estimation raisonnablement réaliste). Pour information, les UFR STAPS de

communes comme Toulouse, Grenoble, Lille et Rennes, comptaient respectivement 2610, 2180, 2295, 1900 étudiants en 2001.

Considérant l'ensemble de ces éléments, le plan de formation proposé nous apparaît raisonnable et cohérent. Il convient aussi de souligner que cette offre de formation (si elle était approuvée par l'Université) resterait très inférieure à celle proposée par les composantes en STAPS dans les autres universités françaises d'importance comparable.

La Licence, premier niveau du cursus de formation en STAPS

Nous proposons un premier niveau Licence, reprenant globalement l'architecture des habilitations en cours : DEUG en STAPS, Licences en STAPS avec trois mentions. Toutefois, cette formation est pensée en relation avec le schéma européen des formations de l'enseignement supérieur. Nous affirmons notre volonté de proposer trois filières de spécialisation dans une orientation professionnelle au travers des trois mentions « Education motricité », « Management du sport », « Entraînement sportif » qui sont reconduites, afin de renforcer notre niveau de spécialisation et de compétences dans ces secteurs de formation. Les intitulés des mentions ont été volontairement retenus conformément à l'Arrêté du 23 mai 1997 (relatif au diplôme d'études universitaires générales, à la Licence et à la Maîtrise en STAPS), car la Licence en STAPS associée à certaines mentions offre la possibilité à nos étudiants d'obtenir une « attestation de qualification et d'aptitude à l'enseignement des activités physiques et sportives » (Arrêté du 27 juillet 1999), délivrée par le Ministère des Sports. Celle-ci confère à son titulaire les prérogatives d'enseignement, d'encadrement et d'animation contre rémunération (conformément à l'article 43 de la loi du 16 juillet 1984).

Ce dispositif est amené à évoluer. Dans l'attente de dispositions nouvelles il nous est apparu pertinent de conserver une adéquation avec la réglementation en cours. Nous écartons la possibilité d'ouvrir de nouvelles filières de professionnalisation, dont en particulier les deux autres filières actuellement reconnues en STAPS (« Ergonomie du sport et performance motrice » et « Activités physiques adaptées » - Arrêté du 23 mai 1997). Les trois filières proposées dans notre formation sont à la fois les plus massivement empruntées par les étudiants sur le plan national (données chiffrées disponibles et issues du recensement réalisé chaque année par la conférence des Directeurs des UFR STAPS) et celles qui assurent l'acquisition de compétences en adéquation avec des débouchés professionnels identifiés et quantitativement significatifs. Le contenu de formation des années d'études dans ce niveau Licence a, en comparaison du plan quadriennal en cours, évolué vers une plus grande pertinence pédagogique, et une intégration plus précoce de contenus de formation visant la professionnalisation des étudiants. Il a été élaboré en tenant compte de ressources limitées (en termes de capacités d'accueil et de personnel d'enseignement), qui ne permettent pas d'envisager de manière réaliste, à l'horizon des échéances du contrat 2004-2007, un dispositif pleinement satisfaisant en première année, d'un point de vue pédagogique. Toutefois, dans sa configuration proposée, cette année d'études nous apparaît plus satisfaisante que la première année du DEUG de l'habilitation en cours. Nous avons en effet intégré davantage d'enseignements pratiques et dirigés, limité la dispersion des enseignements et introduit des contenus d'enseignements visant la sensibilisation aux différentes filières d'orientations professionnelles. L'architecture des trois années se trouve ainsi fondée sur trois ensembles d'enseignements relatifs à la « formation générale », la « formation professionnelle » et la « formation méthodologique ».

La « formation générale » doit permettre aux étudiants de développer des compétences permettant l'analyse, la compréhension et la connaissance scientifiquement fondée de l'activité motrice, de l'intervention et de l'organisation dans le domaine des activités physiques et sportives (APS). Ces compétences supposent l'acquisition de trois catégories de connaissances : des connaissances "pratiques" (habiletés motrices spécifiques à une diversité d'APS) ; des connaissances "technologiques" (connaissance des spécificités techniques, tactiques, réglementaires, des APS, des principes fondamentaux qu'elles imposent de maîtriser, etc.) ; et des connaissances "scientifiques" (déterminants scientifiques de l'activité et de la performance motrice, des phénomènes liés à l'intervention en sport, etc). Ces déterminants sont abordés de façon pluridisciplinaire, à travers les apports des sciences humaines, des sciences sociales et des sciences de la vie et de la santé).

La « formation professionnelle » se fonde sur l'acquisition de compétences permettant l'élaboration d'un projet professionnel. Ces compétences supposent l'acquisition de plusieurs sortes de connaissances : connaissances du contexte institutionnel du milieu professionnel ; connaissances liées à l'expérience concrète des situations professionnelles (lors de stages avec des responsabilités croissantes dans le cursus) ; connaissances permettant l'analyse réflexive et critique de l'intervention et du contexte professionnel (en relation avec les finalités de cette intervention : enseignement scolaire, développement de la performance sportive, management d'une organisation).

La « formation méthodologique » doit permettre aux étudiants de développer des compétences instrumentales et transversales leur permettant de gérer efficacement leur cursus universitaire : elles concernent notamment la

maîtrise de l'anglais, l'appropriation de connaissances et de techniques dans le domaine de l'informatique et de l'analyse des données (quantitatives et qualitatives), et la maîtrise de l'expression écrite et orale.

Des objectifs pédagogiques généraux ont été définis par groupements d'enseignements (formation "générale", "professionnelle" et "méthodologique"), par domaine disciplinaire (pour les enseignements scientifiques et technologiques), et par année d'étude. Ainsi les trois années forment un ensemble cohérent, organisé par un principe de progression dans chaque groupement d'enseignements et dans la démarche pédagogique (évolution de l'importance relative des CM – TD – TP et de leurs articulations, mise en œuvre d'enseignements pluridisciplinaires). Par ailleurs, ces trois années de formation ont été conçues en cohérence avec l'objectif de permettre un accès aux différents Masters du plan de formation proposé : Masters professionnels dans les secteurs de l'intervention en sport et en éducation physique, et dans le domaine du management, et Master recherche (se référer aux projets de Masters).

Le niveau Licence devra être encadré par une réglementation nouvelle et spécifique permettant de concevoir le règlement du contrôle des connaissances pour les années d'études conduisant à ce diplôme. Nous travaillons déjà à l'élaboration d'un dispositif basé sur la capitalisation de crédits ECTS pour valider les années d'études et le diplôme. Le principe de l'obtention de 60 crédits ECTS pour un passage dans l'année supérieure doit être posé, écartant ainsi la possibilité pour les étudiants de s'inscrire dans une année d'études sans avoir validé l'année antérieure. Ceci paraît, dans notre situation, incontournable puisque les enseignements sont articulés et pensés selon une progression au fil des années. De plus, les contraintes structurelles et en personnels ne nous permettraient pas d'assumer une autre forme d'organisation et de validation des connaissances.

Nous avons étudié la pertinence et la faisabilité de l'ouverture d'une licence professionnelle. Il nous est apparu que pour mettre en place un tel cursus « court » professionnel il fallait que cette licence professionnelle s'accompagne de deux années antérieures spécifiques et conçues en relation directe avec cette troisième année. Le dispositif actuel et pris en exemple a été le DEUST. Nous avons alors évalué notre capacité à proposer une licence professionnelle basée sur trois années de formation, restreinte – forcément – à un nombre limité d'étudiants (30 environ). Nous avons considéré que nos ressources en personnels ne nous autorisaient pas à envisager une telle création de diplôme pour le quadriennal 2004. Ce projet a donc été écarté même s'il semble répondre à une demande d'étudiants et à une attente dans certains secteurs professionnels.

Le Master, pour une poursuite des études en STAPS

Notre offre de formation propose une poursuite d'études en Master. Nous avons délibérément choisi de privilégier la lisibilité des formations proposées en présentant trois projets de création de Masters. En effet, ces projets sont fondés sur des orientations professionnelles distinctes.

Le Master professionnel en STAPS, intitulé « Evaluation de projets et administration de services à objet sportif ». La conception de ce Master, s'appuie à la fois sur l'analyse du développement de la filière "Management du sport" au sein de l'UFR STAPS, sur une analyse prospective des besoins en termes de compétences dans le secteur du développement sportif (à l'échelon régional et national), et sur l'étude de l'offre de formation actuelle. Il s'avère que les compétences d'évaluation de projet, d'audit, d'étude, et d'organisation, administration, et gestion de structures, soient de plus en plus l'objet de demandes des collectivités territoriales, des structures intercommunales et parapubliques, des grandes associations, etc.

Le Master professionnel en STAPS, intitulé « L'intervention en éducation physique et en sport ». La conception de ce Master prend appui sur le fait que les métiers de l'intervention sont marqués par une offre d'emplois importante dans le domaine des activités physiques et sportives (en milieu scolaire, associatif ou au sein de collectivités territoriales), en particulier grâce aux postes ouverts aux concours de recrutement de fonctionnaires de l'état. En incluant deux "parcours types" en première et deuxième année de Master, inscrits dans une logique progressive de spécialisation (vers le domaine de l'enseignement ou de l'entraînement), ce projet offre d'une part des perspectives de prolongements et de développement de formations existantes, et répond à une demande bien identifiée (en particulier dans le secteur de l'enseignement).

Le Master recherche en STAPS, intitulé « Recherche en sciences du sport ». Nous avons considéré la formation à la recherche comme une filière de professionnalisation débouchant sur des études doctorales. C'est pourquoi, le projet de création d'une première année de Master recherche (« Recherche en sciences du sport ») se présente de manière isolée. Nous ne sommes pas porteur d'un projet de création de la deuxième année pour ce Master recherche car notre potentiel d'enseignants chercheurs habilités à diriger des recherches est encore insuffisant. En conséquence et de manière à présenter un cursus de formation à la recherche cohérent et lisible, nous proposons une poursuite d'études en année cinq au sein de trois Masters positionnés sur des champs disciplinaires distincts, et dans des composantes extérieures, en relation avec notre politique de recherche mais aussi en phase avec l'objet étudié dans le cadre des recherches en STAPS. Toutefois, il nous paraît essentiel de

disposer de cette première année de Master « Recherche en sciences du sport » pour répondre à une attente des étudiants mais aussi pour inscrire cette évolution dans la progressivité de notre développement. Les trois projets sont présentés au travers d'une note de synthèse ci-jointe associée à chacun des projets.

Le Doctorat, un prolongement maintenant possible des études en STAPS

Nous affirmons notre volonté d'assumer pleinement notre mission d'unité de Formation et de Recherche (formation des étudiants à la recherche) au travers de ce prolongement des études en STAPS à l'université de Nantes. Ce nouvel échelon dans le plan de formation permet de compléter notre offre et d'associer aux activités de recherche développées à l'UFR STAPS la formation d'étudiants – doctorants inscrits dans notre composante.

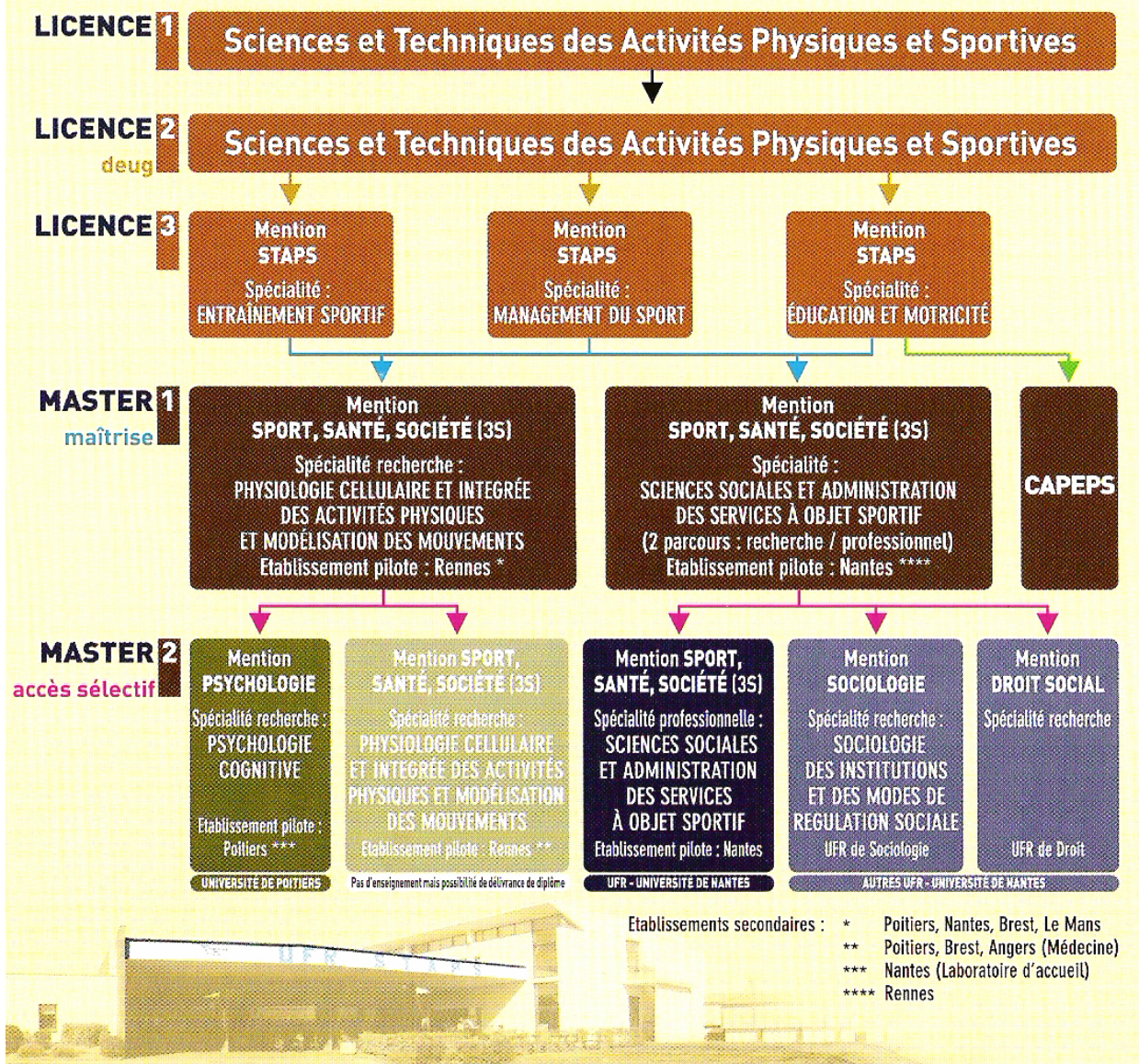
Nous demanderons notre intégration au sein de trois Ecoles doctorales de l'université (« connaissance, langage, culture » ; « droit et changement social » ; « chimie, biologie »), cette demande de rattachements multiples étant la conséquence de notre caractéristique pluridisciplinaire et de notre politique de développement de la recherche clairement affirmée et centrée sur les champs disciplinaires suivants : « sciences humaines », « sciences sociales » ; « sciences de la vie et de la santé ».

La Direction de l'UFR STAPS
(*extrait du texte « argumentaire » soumis à l'Université
en vue d'une habilitation de l'offre de formation 2004 – 2007 ; 17 novembre 2002*)

Le Ministère n'a pas approuvé cette demande en l'état. Le niveau L a été habilité et intégré dans l'un des cinq domaines de l'Université : « Sciences de l'homme et de la société ». Notre demande d'habilitation d'une formation de niveau Master a été rejetée au motif que nous devions nous associer à d'autres composantes en STAPS et/ou hors STAPS pour porter ce type de formation. En conséquence, nous avons, avec le concours de notre Président d'Université, réuni les cinq composantes en STAPS du RUOA pour étudier la faisabilité de présenter une demande conjointe. Cette initiative, dans un premier temps, n'a pas reçu un écho favorable de la part des quatre composantes en STAPS conviées (Brest, Rennes, Le Mans, Poitiers), car elles n'avaient pas, à cette date, reçu d'avis négatif relatif à leur demande d'habilitation au niveau Master. Par la suite, le Ministère leur ayant adressé une recommandation similaire (i.e. regroupement des composantes en STAPS du RUOA autour d'un projet commun), nous avons trouvé ensemble un intérêt commun, celui de voir un Master en STAPS habilité dans l'ouest de la France. Finalement, le projet est né et le Master « Sport, santé, société » regroupant six spécialités a été habilité. Les formations ouvertes à la rentrée universitaire 2004. Pour notre part, nous sommes porteur d'une spécialité intitulé « Sciences sociales et administration des services à objet sportif » composée de deux parcours « recherche » et « professionnel » (responsables : Pr. Suaud C ; Robert S). Nous dispensons les enseignements en lien avec la formation de première année du Master (M1) intitulé « Physiologie cellulaire et intégrée des activités physiques, modélisation du mouvement » adossée aux activités de notre équipe de recherche (JE « Motricité, Interactions, Performance »).

L'organigramme de l'offre des formations habilitées pour le contrat quadriennal 2004 – 2007 à l'UFR STAPS de Nantes est présenté ci-après.

Projet 2004-2007 > **Cursus universitaire**



Responsabilités pédagogiques

Responsable pédagogique et disciplinaire des groupements d'enseignements de « *Physiologie* » et de « *Pré-professionnalisation en entraînement sportif* » du plan de formation de l'UFR STAPS de Nantes depuis juin 2005

Co-responsable pédagogique de la première année de DEUG STAPS en 1999 – 2000

- Aagaard P., Simonsen E.B., Andersen J.L., Magnusson S.P., Halkjaer-Kristensen J., Dhyre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction : effects of resistance training. *J Appl Physiol*, 89 : 2249-2257, 2000a
- Aagaard P., Simonsen E.B., Andersen J.L., Magnusson S.P., Bojsen-Moller F., Dhyre-Poulsen P. Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension. *Scand J Med Sci Sports*, 10 : 58-67, 2000b
- Aagaard P., Andersen J.L., Dhyre-Poulsen P., Leffers A.M., Wagner A., Magnusson S.P., Halkjaer-Kristensen J., Simonsen E.B. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training : changes in muscle architecture. *J Physiol*, 15 ; 534 (Pt.2) : 613-623, 2001
- Aagaard P., Simonsen E.B., Andersen J.L., Magnusson S.P., Dhyre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, 93(4) : 1318-1326, 2002
- Arendt-Nielsen L., Sinkjaer T. Quantification of human dynamic muscle fatigue by electromyography and kinematic profiles. *J Electromyogr Kinesiol*, 1 : 1-8, 1991
- Armstrong R.B., Warren G.L., Warren J.A. Mechanisms of exercise-induced muscles fiber injury. *Sports Med*, 12 : 184-207, 1991
- Astrand P.O., Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol*, 16 : 977-981, 1961
- Badier M., Guillot C., Lagier-Tessonier F., Burnet H., Jammes Y. EMG power spectrum of respiratory and skeletal muscles during static contraction in healthy man. *Muscle Nerve*, 16 : 601-609, 1993
- Badier M., Guillot C., Lagier-Tessonier F., Jammes Y. EMG changes in respiratory and skeletal muscles during isometric contraction under normoxic, hypoxemic, or ischemic conditions. *Muscle Nerve*, 17 : 500-508, 1994
- Baratta R., Solomonow M., Zhou B.H., Letson D., Chuinard R., D'Ambrosia R. Muscular coactivation – The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med*, 16 : 113-122, 1988
- Baudouin A., Hawkins D. Investigation of biomechanical factors affecting rowing performance. *J Biomechanics*, 37 : 969-976, 2004
- Bendahan D., Jammes Y., Salvan A.M., Badier M, Confort Gouny S., Guillot C., Cozzone P.J. Combined electromyography-31P magnetic resonance spectroscopy study of human muscle fatigue during static contraction. *Muscle Nerve*, 19(6) : 715-721, 1996
- Billaut F., Basset F.A., Falgairette G. Muscle coordination changes during intermittent cycling sprints. *Neurosci Lett*, 3 ; 380(3) : 265-269, 2005

- Bonnard M., Sirin A.V., Oddsson L., Thorstensson A. Different strategies to compensate for the effects of fatigue revealed by neuromuscular adaptation processes in humans. *Neurosci Lett*, 166 : 101-105, 1994
- Boucher B. La quantification de l'entraînement. Analyse de l'entraînement de la saison olympique 2000. *Aviron La Revue des Entraîneurs*, 14 : 5-7, 2002
- Bourdin M., Messonnier L., Hager J.P., Lacour, J.R. Peak power output predicts rowing ergometer performance in elite male rowers. *Int J Sports Med*, 25 : 368-373, 2004
- Boyas S., Nordez A., Cornu C., Guével A. Power measurements on rowing ergometer : mechanical sensors vs. Concept2[®] system. *Int J Sports Med*, soumis 3 août, 2005
- Buchanan M., Cunningham P., Dyson R.J., Hurrion, P.D. Electromyographic activity of beating and reaching during simulated boardsailing. *J. Sports Sci*, 14, 131-137, 1996
- Byrnes W.C., Clarkson P.M., Katch F.I. Muscle soreness following resistance exercise with and without eccentric contractions. *Res Quart Exerc Sport*, 56 : 283-285, 1985
- Carolan B., Cafarelli E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J Appl Physiol*, 73(3) : 911-917, 1992
- Castagna O., Guezennec C.Y., Jaunet Devienne M.F., Lacour J.R., Brisswalter J. Analyse de la sollicitation physiologique lors de la navigation en Laser[®]. *Sci Sports*, 19 : 317-323, 2004
- Chamari K., Moussa-Chamari I., Galy O., Chaouachi M., Koubaa D., Ben Hassen C., Hue O. Correlation between heart rate and performance during Olympic windsurfing competition. *Eur J Appl Physiol*, 89 : 387-392, 2003
- Conconi, F., Ferrarini M., Ziglio P.G., Droghetti P., Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J. Appl. Physiol.* 52 : 862-873, 1982
- Corcos D.M, Jiang H.Y., Wilding J., Gottlieb G.L. Fatigue induced changes in phasic muscle activation patterns for fast elbow flexion movements. *Exp Brain Res*, 142 : 1-12, 2002
- Cornu C., Almeida Silveira I., Goubel F. Influence of plyometric training on the mechanical impedance of the human ankle joint. *Eur J Appl Physiol*, 76 : 282-288, 1997
- Cornu C., Maïsetti O., Ledoux I. Muscle elastic properties during wrist flexion and extension in healthy sedentary subjects and volley-ball players. *Int J Sport Med*, 24 : 277-284, 2003
- De Luca C.J. Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans. *Crit Rev Biomed Eng*, 11 : 251-279, 1984
- De Vito G., Di Filioppo L., Felici F., Marchetti M. Hiking mechanics in laser athletes. *Med Sci Res*, 21 : 851-853, 1993
- Dolan P., Mannion A.F., Adams M.A. Fatigue of the erector spinae muscles. A quantitative assessment using "frequency banding" of the surface electromyography signal. *Spine*, 20 : 149-159, 1995
- Ebenbichler G.R., Kollmitzer J., Quittan M., Uhl F., Kirtley C., Fialka V. EMG fatigue patterns accompanying isometric fatiguing knee-extensions are different in mono- and bi-articular muscles. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 109(3) : 256-262, 1998
- Enoka R.M., Stuart D.G. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*, 72(5) : 1631-1648, 1992
- Garland S.W. An analysis of the pacing strategy adopted by elite competitors in 2000 m rowing. *Brit J Sports Med*, 39 : 39-42, 2005
- Germain P., Guell A., Marini JF. Muscle strength during bedrest with and without muscle exercise as a countermeasure. *Eur J Appl Physiol Occup. Physiol*, 71(4) : 342-348, 1995

- Germain P., Guével A., Hogrel J.Y., Marini J.F. Incidences de la vitesse de mouvement et de l'angle articulaire sur des paramètres électrophysiologiques et biomécaniques lors d'un mouvement d'extension du membre inférieur. *Sci Sports*, 11 : 39-45, 1996
- Gibala M.J., MacDougall J.D., Tarnopolski M.A., Stauber W.T., Elorriaga A. Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *J Appl Physiol*, 78 : 702-708, 1995
- Gorelick M., Brown J.M., Groeller H. Short-duration fatigue alters neuromuscular coordination of trunk musculature: implications for injury. *Appl Ergon*, 34 : 317-325, 2003
- Guével A. Etude de l'activité électrique du système neuromusculaire lors de contractions isométriques et isocinétiques concentriques maximales. Approche EMG. *DEA STAPS Université Aix Marseille II* (31p), 1991
- Guével A. Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie en compétition de planche à voile olympique. *Formation commune. Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III^{ème} degré*. INSEP, Paris (65p), 1995
- Guével A. Préparation physique et suivi de l'entraînement en planche à voile olympique. Etude des sollicitations cardiaques induites par des séquences novatrices d'entraînement. *Etude prospective Formation spécifique. Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III^{ème} degré*. INSEP, Paris (32p), 1995
- Guével A. Evaluation des sollicitations physiologiques en planche à voile olympique – Incidences des changements réglementaires – Conséquences sur l'entraînement. *Thèse de doctorat en STAPS de l'Université de la Méditerranée*, Marseille (259p), 1997
- Guével A., Maisetti O., Prou E., Dubois J.J., Marini J.F. Heart rate and blood lactate response during competitive Olympic boardsailing. *J Sport Sci*, 17 : 135-141, 1999
- Guével A., Hogrel J.Y., Marini J.F. Fatigue of elbow flexors during repeated flexion-extension cycles : effect of movement strategy. *Int J Sports Med*, 21 : 492-498, 2000
- Graven-Nielsen T., Lund H., Arendt-Nielsen L., Danneskiold-Samsøe B., Bliddal H. Inhibition of maximal voluntary contraction force by experimental muscle pain : a centrally mediated mechanism. *Muscle Nerve*, 26 : 708-712, 2002
- Hääg G.M., Luttmann A., Jager M. Methodologies for evaluating electromyographic field data in ergonomics. *J Electromyogr Kinesiol*, 10(5) : 301-312, 2000
- Hagberg M. Muscular endurance and surface electromyogram in isometric and dynamic exercise. *J Appl Physiol*, 51 : 1-7, 1981
- Hagberg M., Kvarnstrom S. Muscular endurance and electromyographic fatigue in myofascial shoulder pain. *Arch Phys Med Rehabil*, 65 : 522-525, 1984
- Hagerman F.C. Applied physiology of rowing. *Sports Med*, 1 : 303-326, 1984
- Häkkinen K., Kallinen M., Izquierdo M., Jokelainen K., Lassila H., Malkia E., Kraemer W.J., Newton R.U., Alen M. Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged older people. *J Appl Physiol*, 84(4) : 1341-1349, 1998
- Hanayama K. Recovery of conduction velocity of muscle fiber action potential after strenuous isometric contraction. *Jpn J Physiol*, 44 : 75-88, 1994
- Hautier C.A., Arsac L.M., Deghdegh K., Souquet J., Belli A., Lacour J.R. Influence of fatigue on EMG/force ratio and cocontraction in cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 32 : 839-843, 2000
- Hawkins, D. A new instrumentation system for training rowers. *J Biomechanics*, 33 : 241-245, 2000
- Hunter S.K., Lepers R., MacGillis C.J., Enoka R.M. Activation among the elbow flexor muscles differs when maintaining arm position during a fatiguing contraction. *J Appl Physiol*, 94 : 2439-2447, 2003

- Johnson J.H. A comparison of isokinetic and isotonic training for college women. *Amer Corr Ther J*, 34(6) : 176-181, 1980
- Kankaanpaa M., Taimela S., Webber C.L. Jr., Airaksinen O., Hanninen O. Lumbar paraspinal muscle fatigability in repetitive isoinertial loading : EMG spectral indices, Borg scale and endurance time. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76 : 236-242, 1997
- Kawakami Y., Kanehisa H., Ikegawa S., Fukunaga T. Concentric and eccentric muscle strength before, during and after fatigue in 13 year-old boys. *Eur J Appl Physiol*, 67(2) : 121-124, 1993
- Kellis E., Unnithan V.B. Co-activation of vastus lateralis and biceps femoris muscles in pubertal children and adults. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 79 : 504-511, 1999
- Kouzaki M., Shinohara M., Masani K., Kanehisa H., Fukunaga T. Alternate muscle activity observed between knee extensor synergists during low-level sustained contractions. *J Appl Physiol*, 93 : 675-684, 2002
- Kovaleski J.E., Heitman R.H., Trundle T.L., Gilley W.F. Isotonic preload versus isokinetic knee extension resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 27: 895-899, 1995
- Kraemer W.J., Ratamess N.A., French D.N. Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep*, 1(3) : 165-171, 2002
- Krogsgaard M.R., Dyhre-Poulsen P., Fischer-Rasmussen T. Cruciate ligament reflexes. *J Electromyogr Kinesiol*, 12 : 177-182, 2002
- Larsson B., Beyer N., Bay P., Blond L., Aagaard P., Kjaer M. Exercise performance in elite male and female sailors. *Int J Sports Med*, 17 : 504-508, 1996
- Londeree, B.R., Thomas, T.R., Ziogas, G., Smith, T.D., Zhang, Q. $\dot{V}O_{2max}$ - %FCmax regressions for six modes of exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 27 : 458-461, 1995
- Lormes W., Buckwitz R., Rehbein H., Steinacker J.M. Performance and blood lactate on Gjessing and Concept II rowing ergometers. *Int J Sports Med*, 14 Suppl 1: S29-31, 1993
- Maisetti O. Manifestations myoélectriques de la fatigue comme prédicteurs de la capacité de travail musculaire local. *Thèse de doctorat STAPS, Université de la méditerranée*, 2002
- Maisetti O., Boyas S., Guével A. Specific neuromuscular responses of high skilled laser sailors during a multi-joint posture sustained until exhaustion. *Int J Sports Med*, soumis : 18 juillet, 2005
- Maisetti O., Guével A., Legros P., Hogrel J.Y. SEMG power spectrum changes during a sustained 50 % Maximum Voluntary Isometric Torque do not depend upon the prior knowledge of the exercise duration. *J Electr Kinesiol*, 12 : 103-109, 2002a
- Maisetti O., Guével A., Legros P., Hogrel J.Y. Prediction of endurance capacity of quadriceps muscles using surface EMG spectral analysis during voluntary submaximal isometric contraction. *Eur J Appl Physiol*, 87 : 509-519, 2002b
- Maisetti O., Guével A., Iachkine P., Legros P., Brisswalter J. Le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire, aspects théoriques et propositions méthodologiques pour l'évaluation de la fatigue musculaire associée. *Sci Sports*, 17 : 234-246, 2002c
- Mannion A.F., Dolan P. Electromyographic median frequency changes during isometric contraction of the back extensors to fatigue. *Spine*, 19 : 1223-1229, 1994
- Mannion A.F., Dolan P. Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 74 : 411-419, 1996
- Merletti R., Roy S. Myoelectric and mechanical manifestations of muscle fatigue in voluntary contractions. *J Orthop Sports Phys Ther*, 24(6) : 342-353, 1996
- Merletti R., Lo Conte L.R., Orizio C. Indices of muscle fatigue. *Electromyogr Kinesiol*, 1 : 20-33, 1991

- Millet G.Y., Lepers R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Spots Med*, 34(2) : 105-116, 2004
- Mullany H., O'Malley M., St Clair Gibson A., Vaughan C. Agonist-antagonist common drive during fatiguing knee extension efforts using surface electromyography. *J Electrom Kinesiol*, 12 : 375-384, 2002
- Nosaka K., Clarkson P.M., McGuiggin M.E., Byrne J.M. Time course of muscle adaptation after force eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol*, 63 : 70-76, 1991
- O'Hagan F., Sale D., MacDougall J., Garner S. Comparative effectiveness of accomodating and weight resistance training modes. *Med Sci Sports Exerc*, 27(8) : 1210-1219, 1995
- Oda, S., Moritani, T. Cross-correlation of bilateral differences in fatigue during sustained maximal voluntary contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 70 : 305-310, 1995
- Parkin S., Nowicky A.V., Rutherford O.M., McGregor A.H. Do oarsman have asymmetries in the strength of their back and leg muscles ? *J Sports Sci*, 19 : 521-526, 2001
- Pipes T., Wilmore J. Isokinetic vs isotonic strength training in adult men. *Med Sci Sports*, 7(4) : 262-274, 1975
- Prou E., Guével A., Bénézet P., Marini J.F. Exercise-induced muscle damage : Absence of adaptive effect after a single session of eccentric isokinetic heavy resistance exercise. *J Sports Med Phy Fitness*, 3 : 226-232, 1999
- Remaud A., Cornu C., Guével A. Methodological approach for the comparison between dynamic contractions : influences on the neuromuscular system. *J Athl Training*, (in Press), 2005
- Remaud A., Guével A., Cornu C. Stratégies d'inhibition et de co-activation musculaires : influences sur la régulation du couple de force développé et adaptations chroniques à l'entraînement en force. *Sci Sports*, soumis 30 mai, 2005
- Rochette L., Hunter S.K., Place N., Lepers R. Activation varies among the knee extensor muscles during a submaximal fatiguing contraction in the seated and supine postures. *J Appl Physiol*, 95 : 1515-1522, 2003
- Rodacki A.L., Fowler N.E., Bennett S.J. Multi-segment coordination : fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc*, 33(7) : 1157-1167, 2001
- Rodacki A.L., Fowler N.E., Bennett S.J. Vertical jump coordination : fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1) : 105-116, 2002
- Rodriguez R.J., Rodriguez, R.P., Cook, S.D., Sandborn, P.M. Electromyographic analysis of rowing stroke biomechanics. *J Sports Med Phys Fitness*, 30 : 103-108, 1990
- Sales D.G. Neural adaptations to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 20 : S135-S145, 1988
- Secher N.H. The physiology of rowing. *J Sports Sci*, 1 : 23-53, 1983
- Schmitz R.J., Westwood K.C. Knee extensor electromyographic activity-to-work ratio is greater with isotonic than isokinetic contractions. *J Athl Training*, 36 : 384-387, 2001
- Shephard R.J. Biology and medicine of sailing - an update. *Sports Med*, 23(6) : 350-356, 1997
- Sherman W.M., Armstrong L.E., Murray T.M., Hagerman F.C., Costill D.L., Staron R.C. et coll. Effect of a 42.2 km footrace and subsequent rest or exercise on muscular strength and work capacity. *J Appl Physiol*, 57 : 1668-1673, 1984
- Smith M.J., Melton P. Isokinetic versus isotonic variable-resistance training. *Am J Sports Med*, 9 : 275-279, 1981
- Spurway N.C., Burns R. Comparison of dynamic and static fitness-training programmes for dinghy sailors and some questions concerning the physiology of hiking. *Med Sci Res*, 21 : 865-67, 1993

- Tamaki H., Kitada K., Akamine T., Murata F., Sakou T., Kurata H. Alternate activity in the synergistic muscles during prolonged low-level contractions. *J Appl Physiol*, 84 : 1943-1951, 1998
- van Dieen J.H., Heijblom P., Bunkens H. Extrapolation of time series of EMG power spectrum parameters in isometric endurance tests of trunk extensor muscles. *J Electromyogr Kinesiol*, 8 : 35-44, 1998
- van Dieen J.H., Oude Vrielink H.H., Housheer A.F., Lotters F.B., Toussaint H.M. Trunk extensor endurance and its relationship to electromyogram parameters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 66 : 388-396, 1993
- Vogiatzis I., Roach NK., Trowbridge E.A. Cardiovascular, muscular and blood lactate responses during dinghy 'hiking'. *Med Sci Res*, 21 : 861-863, 1993
- Vogiatzis I., Spurway N.C., Jennet S., Wilson J., Sinclair J. Changes in ventilation related to changes in electromyograph activity during repetitive bouts of isometric exercise in simulated sailing. *Eur J Appl Physiol*, 72(3) : 195-203, 1996
- Weir J.P., Keefe D.A., Eaton J.F., Augustine R.T., Tobin D.M. Effect of fatigue on hamstring coactivation during isokinetic knee extensions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78 : 555-559, 1998

Articles publiés et en soumission

code	Titre	pages
AI1	Guével A., Maisetti O., Prou E., Dubois J.J., Marini J.F. Heart rate and blood lactate response during competitive Olympic boardsailing. <i>Journal of Sport Sciences</i> 17 : 135-141, 1999	4
AI2	Prou E., Guével A., Bénézet P., Marini J.F. Exercise-induced muscle damage : Absence of adaptive effect after a single session of eccentric isokinetic heavy resistance exercise. <i>The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness</i> 3 : 226-232, 1999	11
AI3	Guével A., Hogrel J.Y., Marini J.F. Fatigue of elbow flexors during repeated flexion-extension cycles : effect of movement strategy. <i>International Journal of Sports Medicine</i> 21 : 492-498, 2000	19
AI4	Maisetti O., Guével A., Legros P., Hogrel J.Y. SEMG power spectrum changes during a sustained 50 % Maximum Voluntary Isometric Torque do not depend upon the prior knowledge of the exercise duration. <i>Journal Electromyography Kinesiology</i> 12 : 103-109, 2002a	27
AI5	Maisetti O., Guével A., Legros P., Hogrel J.Y. Prediction of endurance capacity of quadriceps muscles using surface EMG spectral analysis during voluntary submaximal isometric contraction. <i>European Journal Applied Physiology</i> 87 : 509-519, 2002b	34
AI6	Remaud A., Cornu C., Guével A. Methodological approach for the comparison between dynamic contractions : influences on the neuromuscular system. <i>Journal Athletic Training</i> (in Press), 2005	45
AF1	Germain P., Guével A., Hogrel J.Y., Marini J.F. Incidences de la vitesse de mouvement et de l'angle articulaire sur des paramètres électrophysiologiques et biomécaniques lors d'un mouvement d'extension du membre inférieur. <i>Science et Sports</i> 11 : 39-45, 1996	53
AF2	Maisetti O., Guével A., Iachkine P., Legros P., Brisswalter J. Le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire, aspects théoriques et propositions méthodologiques pour l'évaluation de la fatigue musculaire associée. <i>Science et Sports</i> 17 : 234-246, 2002c	60

Résumés de mémoires

M2	Guével A. (1991). Etude de l'activité électrique du système neuromusculaire lors de contractions isométriques et isocinétiques concentriques maximales. Approche EMG. DEA STAPS, Université Aix Marseille II (31p)	73
M4	Guével A. (1995). Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie en compétition de planche à voile Olympique. <i>Formation commune</i> . Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III ^{ème} degré. INSEP Paris (65p)	74
M5	Guével A. (1995). Préparation physique et suivi de l'entraînement en planche à voile Olympique. Etude des sollicitations cardiaques induites par des séquences novatrices d'entraînement. <i>Etude prospective Formation spécifique</i> . Brevet d'Etat d'Educateur Sportif III ^{ème} degré. INSEP Paris (32p)	75
M6	Guével A. (1997). Evaluation des sollicitations physiologiques en planche à voile Olympique – Incidences des changements réglementaires – Conséquences sur l'entraînement. Thèse de doctorat en STAPS de l'Université de la Méditerranée, Marseille (259p)	76

Résumés de communications orales

C1-3	<u>Guével A.</u> Les sollicitations neuromusculaires liées à la pratique de la planche à voile Olympique. Approche électromyographique. <i>Colloque Voile & Médecine. Société de Médecine du Sport de Bretagne, Brest, 1994</i>	77
C1-6	<u>Guével A.</u> , Dubois J.J., Marini J.F. Etude de la réponse cardiaque et de la lactatémie en compétition de planche à voile olympique. <i>VI^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Pointe à Pitre (France), 1995</i>	80
C1-7	Prou E., <u>Guével A.</u> , Bénézet P., Marini J.F. Effets de deux exercices musculaires isocinétiques excentriques successifs sur les concentrations sériques en fragments de chaînes lourdes de myosine de type I. <i>VI^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Pointe à Pitre (France), 1995</i>	82
C1-9	<u>Guével A.</u> Caractéristiques de force des véliplanchistes de haut niveau et exploration de leur endurance de force. <i>Entretiens de l'INSEP, Paris (France), 1999</i>	84
C1-10	Maisetti O., Boyas S., <u>Guével A.</u> Influence du niveau d'expertise sur la fatigue neuromusculaire induite par le maintien d'une tâche pluri-segmentaire sous maximale. <i>X^{ème} Congrès international de l'ACAPS, Toulouse, 2003</i>	86
C1-11	Boyas S., Maisetti O., <u>Guével A.</u> Neuromuscular fatigue induced by sustained hiking. <i>Sailing Sport Science Conference, Toulon, 2004</i>	88
C1-12	<u>Guével A.</u> , Nordez A., Boyas S., Guihard V., Cornu C. Characterization of muscular requests of leg extensors during codified training sequences of rowing. <i>3^{èmes} Journées Internationales des Sciences du Sport, Paris, 2004</i>	92
C1-13	Boyas S., Nordez A., <u>Guével A.</u> Evolution des niveaux d'activation des extenseurs et fléchisseurs de la jambe lors d'un 2000 mètres sur ergomètre d'aviron. <i>XI^{ème} Congrès international de l'ACAPS, Paris, 2005</i>	94
C1-15	<u>Guével A.</u> , Maisetti O. Le maintien de la position de rappel en dériveur solitaire – Etat de la question et intérêt pour l'entraînement. <i>1^{er} colloque Sport et Recherche en Pays de la Loire, Nantes, 2005</i>	96

Résumés de communications affichées

C2-1	Germain P., <u>Guével A.</u> , Hogrel J.Y., Marini J.F. Etude des régimes de contraction isométrique et concentrique isocinétique de mouvement. Investigations biomécaniques et électrophysiologiques. <i>Congrès Internationale de l'ACAPS. Lille (France), 1991</i>	99
C2-3	<u>Guével A.</u> , Prou E., Bénézet P. Déficit unilatéral des muscles extenseurs du genou chez un finnisiste. <i>VII^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Marseille (France), 1997</i>	101
C2-4	Maisetti O., <u>Guével A.</u> , Hogrel J.Y., Rose I., Legros P. Une approche originale pour l'évaluation EMG de la fatigue musculaire locale en mode de contraction concentrique isocinétique. <i>IX^{ème} Congrès international de l'ACAPS. Valence (France), 2001</i>	103
C2-5	Remaud A., Cornu C., <u>Guével A.</u> Responses of the neuromuscular system to isotonic and isokinetic contractions. <i>Archives of Physiology and Biochemistry 112 (Suppl) : S163 ; XXIX^{ème} Congrès de la Société de Biomécanique, Paris, 2004</i>	104
C2-7	Remaud A., <u>Guével A.</u> , Cornu C. Effet du mode de contraction sur les niveaux d'activation et de co-activation musculaires au cours de mouvements standardisés d'extension du genou : mode isotonique vs. mode isocinétique. <i>XI^{ème} Congrès International de l'ACAPS, Paris, 2005</i>	105
C2-8	Boyas S., Nordez A., Cornu C., <u>Guével A.</u> Mesures de la puissance sur ergomètre d'aviron : capteurs mécaniques vs. système Concept2 [®] . <i>XI^{ème} congrès international de l'ACAPS, Paris, 2005</i>	107

Chapitre d'ouvrage

O1	<u>Guével A.</u> L'entraînement physique : programmation et planification. In: J. Saury et J.F. Talon (Eds), <i>L'entraînement de haut niveau en voile</i> (pp. 41-68), Paris, Édition FfV, 1997	109
----	--	-----

code	Titre	pages
T2-1	Diplôme et rapport de soutenance de thèse, juin 1997	3
T2-2	Programme scientifique résumé / JE 2438 « Motricité, Interactions, Performance »	6
T2-3	Attestation – A Guell, Responsable des programmes en Sciences de la vie au CNES	10
T2-4	Convocation – Thèse P Iachkine	11
T2-5	Convocation & résumé – Thèse S Durand	12
T2-6	Rapport de monitorat, juin 2005	14
T2-7	ATER Nice, lettre de recommandation	20
T2-8	Bilan des heures d'enseignements 1989 – 1998	22
T2-9	MCU Nantes, services d'enseignements	23
T2-10	Licence « entraînement sportif » Plaquette de présentation	24
T2-11	Diplôme d'Université « Préparation physique et mentale dans les sports nautiques »	26
T2-12	Programme d'Actions de l'UFR STAPS 2004 – 2007	28
T2-13	Texte « Politique scientifique de l'UFR STAPS 2000 – 2004 »	44
T2-14	Colloque « Sport et Recherche en Pays de la Loire » Plaquette & Programme	55
T2-15	Accusé de réception / appel d'offre Régional « SHS »	61

Résumé

Mes activités de recherche sont centrées sur les « Adaptations de la fonction neuromusculaire à l'exercice aigu et chronique ». Elles s'organisent en trois thématiques. La *première* traite de la fatigue musculaire émergeant de l'exercice aigu et à l'origine d'adaptations de la fonction neuromusculaire. La *seconde* recouvre nos travaux sur les adaptations nerveuses et structurales de la fonction neuromusculaire à l'exercice chronique. La *troisième* partie regroupe l'ensemble des travaux réalisés sur l'étude et la caractérisation des sollicitations physiologiques et biomécaniques induites par la pratique de sports nautiques. Les activités scientifiques sont présentées ici selon cette structure, mes travaux antérieurs et ceux en cours sont exposés, ainsi que les perspectives de recherche associées à chacune des deux premières thématiques. A ce stade, ces travaux ont fait l'objet de huit publications dans des revues indexées et trois sont en expertise. Un étudiant a réalisé sa thèse sur le premier axe thématique et la « Prédiction de la capacité de travail musculaire » (soutenue en 2002), et deux doctorants achèvent leur programme scientifique au centre des thématiques 1 et 2.

Dans le cadre de mes activités administratives et pédagogiques, j'ai été amené à diriger l'UFR STAPS de l'Université de Nantes pendant cinq ans, et sur cette période j'ai mené des actions de structuration de la recherche (définition de la première politique de recherche de l'UFR STAPS, création d'une équipe de recherche, labélisation en Jeune Equipe –JE– au sein du contrat quadriennal 2004 – 2007). Depuis septembre 2004, je dirige le laboratoire « Motricité, Interactions, Performance » (JE 2438). Sur le plan du développement des formations, j'ai aussi porté et pris part aux projets de création d'une licence STAPS spécialité « entraînement sportif », d'un Diplôme d'Université « Préparation physique et mentale dans les sports nautiques » et de la nouvelle offre de formation de l'UFR STAPS pour la période 2004 – 2007 qui intègre un Master « Sport, Santé, Société » (STAPS) habilité au sein du Réseau des Universités de l'Ouest Atlantique (RUOA).