

ZOOM sur le



Edito



Nous voilà déjà à l'aube de la trêve estivale, et de la fin de cette année universitaire qui une nouvelle fois laissera derrière elle de belles réussites pour notre laboratoire. Dans cette quatrième lettre d'information du LIBM, couvrant la période octobre 2019 à juillet 2020, nous reviendrons sur l'évaluation HCERES de notre laboratoire au cours de laquelle l'excellence scientifique et le dynamisme dont nous faisons preuve ont été félicités. Dans cette lettre, nous vous proposons un zoom sur l'équipe « Vascular Biology and Red Blood Cell », parfait exemple de cette dynamique maintenant bien enclenchée. La place du LIBM dans les médias est également un bon exemple de la reconnaissance qui nous est faite. Nous continuerons également à mettre à l'honneur nos doctorants. Après avoir présenté les doctorants et post-doctorants stéphanois et chambériens dans les précédentes lettres, ce quatrième volet intègre cette fois la présentation des projets en cours côté Lyon. Avant cela, nous reviendrons sur les récentes soutenances de thèse de Marine Alhammoud, Jean Romain Rivière et Clément Boulard, que nous félicitons et à qui nous souhaitons de bien mettre à profit leurs travaux de recherche menés au LIBM. Vous retrouverez également dans cette lettre deux rubriques amenées à être récurrentes : la présentation des travaux d'un membre du LIBM dans une rubrique intitulée « un chercheur, trois études », ainsi que l'interview du jour. Je vous laisse découvrir qui sont nos heureux élus. Cette dernière année ne laissera malheureusement pas que de bons souvenirs. La crise sanitaire de la Covid-19 est passée par là et aura fortement affectée notre quotidien et nos activités de recherche, tout en offrant paradoxalement de nouvelles questions scientifiques (voir dans cette lettre). Mais aussi et surtout, nous nous souviendrons de cette période pour la douloureuse perte de notre collègue Camille. J'aime à parler du dynamisme du LIBM. Camille incarnait ce dynamisme, et avec elle, c'est une partie du LIBM qui s'envole. Nos pensées vont bien sûr à sa famille, ses proches, mais également ses collègues qui travaillaient au jour le jour avec elle. Grâce à la plume de Christophe, nous dédions cette lettre d'information à Camille.

Thomas Lapole

SOMMAIRE :

Page 2 : Actualités

Page 10 : Les doctorants lyonnais du LIBM

Page 18 : Un chercheur, trois études

Page 20 : L'interview du jour

Comité éditorial : *Thomas LAPOLE (Saint-Etienne), Christophe HAUTIER (Lyon), Baptiste MOREL (Chambéry)*

Nos pensées pour Camille



Il y a quelques semaines, notre aimée et regrettée collègue, Camille Faes, nous a quitté, nous laissant toutes et tous, collègues, et ami-e-s, livré-e-s à la peine de sa disparition, à nos souvenirs des tâches partagées et de son agréable présence. Cette lettre lui est dédiée pour ne pas oublier mais aussi pour aider celles et ceux qui restent avec leur peine et leurs questions et qui, ébranlé-e-s dans leur quotidien, ont besoin de savoir que cette douleur est partagée.

Camille, c'était la compétence, l'exigence, l'excellence et une chance pour son équipe et le LIBM d'atteindre les objectifs les plus ambitieux. Camille avait à cœur de faire de grandes découvertes qui puissent à la fois faire avancer la connaissance mais aussi et surtout améliorer la vie des patients. Car si Camille était passionnée par le sport et la compétition, elle voulait surtout que

l'activité physique puisse servir à améliorer la santé de toutes et de tous. C'est pourquoi ses travaux de recherche ont porté sur deux pathologies très répandues : la drépanocytose et l'athérosclérose. En se concentrant sur ces deux pathologies et leur point commun, le système cardiovasculaire, Camille espérait pouvoir mieux comprendre les interactions entre l'activité physique, le globule rouge, la coagulation, la paroi des vaisseaux sanguins et les risques d'accidents vasculaires. Pour atteindre son but Camille n'a pas compté ses efforts, elle a repris des études doctorales alors qu'elle était déjà professeure certifiée, s'investissant à 100% dans son travail de thèse puis elle est partie pendant un an aux USA pour réaliser son post-doctorat. Suite à ce post-doctorat Camille a été recrutée à L'université de Lyon non pas parce qu'elle y avait fait ses études mais parce que c'était la meilleure et de loin, dans son domaine. Là, elle s'est investie dans son rôle d'enseignante et de chercheuse, avec pour objectif de rendre les contenus en physiologie plus didactiques, plus accessibles aux jeunes étudiants. En parallèle Camille a développé des projets de recherche ambitieux en partenariat avec des laboratoires prestigieux en France et à l'étranger. Camille encadrait Mathilde et Etienne en thèse qui peuvent compter sur le soutien de tout le LIBM pour mener à bien leur doctorat. C'est parce que Camille était là avec sa force et sa compétence qu'il a été envisagé de créer la nouvelle équipe ATPA dirigée par Vincent Pialoux vers qui vont notre pensée et notre amitié.

Mais il est impossible aujourd'hui de parler de Camille uniquement dans le cadre professionnel car pour beaucoup d'entre nous Camille était beaucoup plus que cela, elle va profondément nous manquer et nous organiserons dans un avenir proche un temps scientifique dédié à Camille qui nous permettra d'honorer sa mémoire et de nous retrouver.

Retour sur l'évaluation HCERES du LIBM



Le 10 Mars 2020 notre laboratoire a reçu la visite du comité d'évaluation de l'HCERES. Cette journée pré-confinement fut un temps d'échange privilégié entre les collègues du laboratoire mais aussi avec le comité d'évaluation et les représentants des présidences et conseils scientifiques de chaque Université. Le comité d'évaluation a souligné l'**excellent niveau scientifique** du LIBM qui a significativement augmenté la qualité et la quantité des publications au cours du précédent quinquennal. Il a également été relevé que les différents

thèmes portés dans l'ancien et le futur quinquennal présentent une grande **complémentarité** sur l'ensemble des critères d'évaluation, ce qui renforce la pertinence du regroupement initié lors du précédent contrat. De plus, l'organisation du LIBM en six équipes au cours du prochain contrat quinquennal permettra de donner une **meilleure lisibilité au nouveau projet**. Le comité d'évaluation a également apprécié les axes transversaux inter-sites qui regroupent plusieurs équipes autour d'une même thématique ce qui doit nous permettre d'**amplifier les synergies entre les équipes**. Enfin, le comité a tenu à signaler l'inadéquation entre l'excellence de l'unité et les locaux qui sont mis à disposition de l'équipe Lyonnaise, notamment pour réaliser les expérimentations chez l'humain. Espérons que ce point pourra-t-être corrigé rapidement par une réintégration du bâtiment R. Dubois et la construction d'un bâtiment dédié à l'expérimentation humaine dans le domaine des sciences du sport et du mouvement.

Mercato

Même si le mercato est souvent calme en cours d'année universitaire, notons tout de même sur Saint-Etienne l'arrivée de **Morgane Desporte** (bienvenue !) qui remplace depuis décembre Marion Philip au poste d'assistante administrative. Diplômée d'un Master 2 de Droit public, Morgane a intégré l'Université de Saint-Etienne en 2014 et a notamment officié à la Direction des Ressources Humaines. D'un naturel curieux, elle a souhaité élargir son champ de compétences, ce qui l'a conduite fin 2019 à rejoindre le LIBM.



Morgane : « *Je n'avais jamais travaillé dans un laboratoire de recherche, ni sur le campus Médecine. C'était donc une opportunité de découvrir un nouvel environnement, d'être en contact avec des enseignants, des doctorants, des étudiants. De plus, le domaine de recherche du LIBM m'intéressait tout particulièrement, à titre personnel, par son lien étroit entre Médecine et Sport. J'ai eu la chance que ma candidature soit acceptée.* »

Covid-19

L'épidémie de Covid-19 a bousculé nos habitudes. Elle a changé notre quotidien, et impacté notre travail. C'est aussi et avant tout un problème sanitaire majeur, face auquel le LIBM se devait d'apporter sa contribution.

Les premiers retours des cliniciens ayant traité les patients atteints par la Covid-19 font état d'une fatigue extrêmement marquée. De hauts niveaux de fatigue ont aussi été rapportés chez des sujets hospitalisés en unité Covid+, et même non-hospitalisés. Cette fatigue apparaît alors comme un des principaux obstacles à la pratique de l'exercice physique durant les semaines qui suivent les séjours en réanimation, entraînant les patients dans un cercle vicieux d'inactivité/sédentarité, et impactant le processus de rééducation et à terme la qualité de vie et la reprise d'une activité professionnelle. Fort de son expertise dans le domaine de la fatigue, le LIBM, sous l'impulsion de Guillaume Millet et Jérôme Morel, met en place un projet de recherche multicentrique en coopération avec des équipes lyonnaises et grenobloise pour **mieux comprendre l'étiologie de la fatigue chronique chez des patients de réanimation atteints par le Covid-19**. Pour y parvenir, ce projet se propose de diagnostiquer de façon exhaustive les causes objectives de fatigue (sommeil, déconditionnement cardio-respiratoire, excitabilité cérébrale, fonction musculaire, inflammation) et d'étudier sa récupération à 6 mois. En parallèle, la fatigue perçue et d'autres facteurs associés (stress, dépression, activité physique) seront recueillis en continu grâce à un [outil](#) développé pour le présent projet.

Le LIBM dans les médias

Durant cette année universitaire, le LIBM et ses membres ont été mis à l'honneur à plusieurs reprises dans les médias. Profitons de cette lettre pour revenir sur quelques-unes de ces mises en lumière :

- A l'initiative de la cellule « Culture Scientifique, Technique et Industrielle » de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne, retrouvez [ici](#) une vidéo de présentation de **Yann Le Mat**, doctorant de 1^{ère} année au sein du LIBM. Une vidéo vraiment cool !

- Grâce à Science Pour Tous, **Manon Gouez**, doctorante à Lyon, a eu l'occasion de présenter les arrangements mis en place pour continuer à avancer sur sa thèse durant la période de confinement, ainsi que les impacts de cette situation. Une expérience que nous avons tous vécu plus ou moins différemment et qu'elle partage [ici](#).



- *Le Covid aurait-il autant tué il y a 50 ans ?* Petit plaidoyer pour l'activité physique et sportive de **Guillaume Millet**, à retrouver [ici](#), sur le site du quotidien du médecin.
- Retrouvez [ici](#) un article sur le site de l'Université Savoie Mont Blanc présentant les travaux de thèse de **Brice Picot** sur la prévention des blessures chez les handballeurs.
- **Thibault Besson** et **Frederic Sabator**, doctorants à Saint-Etienne, ont suivi au Lioran les équipes de France trail & course. Retrouvez leurs exploits, ou plutôt ceux des coureuses et coureurs, [ici](#).
- *Les femmes sont-elles plus endurantes que les hommes ?* Retour grâce à National Geographic sur l'étude UTMB 2019 pilotée par **Guillaume Millet**. A lire [ici](#).
- Et pour approfondir le débat, retrouvez [ici](#) un article intitulé « *Les femmes s'apprêtent-elles à dominer l'ultrafond ?* », où **Guillaume**, une psychologue et une ultrafondeuse donnent leur avis respectif.
- Et si vous préférez les images à la lecture, foncez sur ce magnifique reportage tourné par NPO2 (chaîne de télévision généraliste néerlandaise ; reportage sous-titré en français, ouf !) et intitulé « *Coureurs nés* ». Une magnifique tribune pour notre laboratoire à retrouver [ici](#).
- Pour Pop Sciences, trois doctorants stéphanois (**Loic Espeit**, **Thibault Besson** et **Frederic Sabater**) ont présenté un des axes de recherche du LIBM : *étudier la fatigue pour aider les malades et préparer les sportifs de demain* ! Un reportage complet à lire [ici](#).
- Pop Sciences suite : retrouvez [ici](#) l'interview vidéo de **Guillaume Millet** et **Laurent Gergelé**. *Ultra-grave* ! Ne me faites pas dire ce que je n'ai pas dit, il ne s'agit pas d'un qualificatif pour Guillaume et Laurent, mais bien des complications graves qui peuvent être liées à la pratique de l'ultra-trail.
- Pop Sciences suite et fin : à écouter [ici](#), le podcast de l'émission radio organisée avec Radio Campus 42 et portant sur « *Le cerveau, cet autre muscle des sportifs* ». Avec la présence de **Thomas Lapole** et **Aymeric Guillot**.
- Tout tout tout vous saurez tout sur la fatigue ! Un podcast à (ré)écouter [ici](#), avec **Guillaume Millet** pour RCF Radio.

Nous sommes heureux de voir que nos membres et notre laboratoire font parler d'eux, signe une nouvelle fois de notre dynamisme.

Zoom sur l'équipe VBRBC



L'équipe « Vascular Biology and Red Blood Cell », VBRBC pour les intimes (« Viens Boire du Rhum et Bouffer des Cacahuètes » pour les très intimes), est l'une des six équipes issues de la réorganisation du LIBM. Elle est composée de 8 membres titulaires : 1 PU (Philippe Connes, chef d'équipe ; *notre photo ci-contre*), un MCU (Nicolas Guillot) et six PH (Philippe Joly, Céline Renoux, Alexandra Gauthier, Solène Poutrel, Kamila Kebaili et Emilie Viot). Elle compte actuellement cinq étudiants en thèse (Romain Fort, Emeric Stauffer, Mélanie Robert, Sofia Esperti et Etienne Gouraud) et dont vous trouverez les projets dans cette lettre. Elle compte également un ingénieur (Camille Boisson) et un ATER (Elie Nader).

L'activité de recherche de VBRBC s'organise autour de deux thématiques principales :

- Hémoglobinopathies et autres maladies du globule rouge
- Adaptations érythrocytaires et vasculaires en situations physiologiques (exercice et hypoxie).

L'approche est de type physiologie intégrative et va de la biologie moléculaire/cellulaire à la physiologie/clinique, en se centrant essentiellement sur la **biologie du globule rouge et vasculaire**, et en collaboration avec d'autres équipes du LIBM sur des aspects de physiologie musculaire ou sur des marqueurs du stress oxydatif systémique par exemple.

La maladie sur laquelle l'équipe a le plus travaillé ces dernières années est la **drépanocytose** (maladie génétique qui touche l'hémoglobine contenu dans les globules rouges). Les publications de l'équipe ont notamment montré que le profil hémorhéologique à l'état de base des patients était associé à la fréquence des crises vaso-occlusives et modulé par différents facteurs génétiques : les patients les plus à risque ayant un sang plus visqueux et une agrégation érythrocytaire augmentée. La **reconnaissance de l'équipe sur la scène internationale** dans le domaine de la rhéologie du sang et de la drépanocytose a récemment permis d'obtenir deux contrats Européens : un projet Eurostar (99 k€, Pays-Bas/Allemagne/France) visant à décrire les changements de déformabilité du globule rouge en gradient d'oxygène des patients drépanocytaires et à en tester l'intérêt clinique, et un International Training Network Marie Curie regroupant plus de 15 partenaires académiques et industriels Européens travaillant sur le globule rouge dans différentes pathologies chroniques (>270 k€ pour VBRBC en collaboration avec Erytech Pharma basé à Lyon). L'équipe a également développé un partenariat avec la start-up Hartis Pharma, en Suisse, pour tester l'effet de différentes molécules à potentiel thérapeutique sur le profil rhéologique des globules rouges drépanocytaires. L'équipe s'intéresse aussi aux relations entre les anomalies du globule rouge dans la drépanocytose et l'impact sur la fonction vasculaire en explorant notamment les mécanismes d'éryptose et d'émission de microparticules et leur impact sur l'endothélium et l'inflammation. Une collaboration privilégiée avec la Guadeloupe (UMR Inserm 1134) a récemment donné lieu à un article dans *Blood* montrant les effets délétères des microparticules sur le phénotype endothélial.

En parallèle, l'équipe VBRBC a réalisé plusieurs études visant à décrire les **adaptations érythrocytaires et ventilatoires à l'exercice aigu et chronique (ré-entraînement) chez le patient drépanocytaire**, en collaboration avec l'Allemagne (financement DFG (ANR Allemande) > 230 k€). Les résultats prometteurs de ces études conduisent maintenant à travailler en étroite collaboration avec les médecins du Centre de Référence Constitutif sur les maladies rares du Globule Rouge et de l'Erythropoïèse (Lyon) et du Service d'Exploration Fonctionnelle Respiratoire - Médecine du Sport (Lyon), sur des protocoles de ré-entraînement et d'exercice chez des patients drépanocytaires. Par exemple, l'étude Drépamuscle visant à caractériser les processus de fatigue chez le patient drépanocytaire lors d'un exercice dynamique vient tout juste de se terminer.

L'équipe VBRBC s'intéresse également aux **adaptations à l'altitude et à l'exercice** et elle a eu la chance de participer au projet Expedition 5300 piloté par Samuel Verges (HP2 Inserm, Grenoble) visant à caractériser le profil hématologique, hémorhéologique, inflammatoire, cardiaque et vasculaire de personnes vivant dans la plus haute ville du monde au Pérou (La Rinconada, 5100 m). Un premier travail publié dans *J Physiol (London)* a permis de montrer des anomalies de la viscosité sanguine plus importante chez les individus qui développent un mal chronique des montagnes. Ce projet a été très médiatisé et l'est encore aujourd'hui puisqu'il est passé à la deuxième étape qui est de tester l'effet de deux molécules sur le mal chronique des montagnes et les mécanismes physiopathologiques sous-jacents. Enfin, VBRBC s'intéresse également aux effets de l'exercice aigu sur la physiologie du globule rouge chez le sportif d'endurance comme ce fut le cas lors de l'étude UTMB 2019 pilotée par Guillaume Millet.

Le fait de travailler de façon conjointe sur les maladies du globule rouge et les adaptations à l'exercice du sujet sain permet de **mieux comprendre les interactions entre la physiologie du globule rouge, la fonction vasculaire et l'inflammation**, et ainsi de **faire progresser les connaissances sur les mécanismes physiopathologiques de différentes maladies, dans le but d'améliorer la condition clinique des patients**.

L'expertise de l'équipe VBRBC l'a par ailleurs conduit à organiser **le Congrès du Club Globule Rouge et du Fer** à Lyon en octobre dernier (plus d'informations [ici](#)), congrès au cours duquel les travaux de l'équipe ont été plébiscités par l'obtention de deux prix poster. Camille Boisson a été récompensée pour la présentation de son étude intitulée « Intérêt de la mesure de la déformabilité érythrocytaire en gradient d'oxygène dans la drépanocytose » et Etienne Gouraud a lui été primé pour son étude « Effet d'un exercice mono-articulaire sous-maximal sur le muscle squelettique de patients drépanocytaires homozygotes ».



Une belle dynamique donc pour l'équipe VBRBC et qui contribue amplement à celle du LIBM.

ActiFS

Depuis octobre, le cycle de conférences de la [chaire ActiFS](#) a pu proposer deux nouvelles soirées de transmission des connaissances scientifiques actuelles en matière de santé et de performance à un public varié, le tout dans un langage accessible à tous.

Le 5 décembre 2019, ce sont Jérôme Koral (post-doctorant au LIBM) et Sébastien Sangnier (préparateur physique à l'ASSE) qui sont intervenus sur le thème de « **La préparation physique dans les sports collectifs : logique individuelle ou d'équipe ?** ». Tous deux ont ainsi présenté leur vision de la quantification de la charge ainsi que des méthodes d'entraînement, le tout en se basant sur les évidences scientifiques récentes.

Le 6 février 2020, c'est devant une salle comble que Pascal Edouard et Thomas Lapole, tous deux membres du LIBM, ont présenté et discuté les preuves scientifiques actuelles sur la prévention des blessures, au cours d'une conférence au titre évocateur pour bon nombre de sportif aguerris ou en devenir : « **Comment diminuer le risque de blessure en sport ?** ».

En attendant la reprise du cycle de conférences, rendez vous [ici](#) pour voir ou revoir en vidéo les conférences précédemment organisées.



Les séminaires scientifiques du LIBM



Les séminaires scientifiques du LIBM ont malheureusement été mis à l'arrêt à cause de la période de confinement forcée, préférant recevoir plus tard sur sites nos intervenants plutôt que de privilégier la solution visio-conférence. Remercions tout de même les différents intervenants venus nous présenter leurs travaux avant la crise sanitaire. Ainsi, depuis la précédente lettre d'information sont intervenus **Nicola Maffiuletti** (Human Performance Lab, Zurich, Suisse), **Gianluca Vernillo** (University of Calgary, Canada), un tandem formé de **Laurent Messonnier** et **Jorn Helge** (University of Copenhagen, Danemark), un autre tandem composé de **Mikko Julin** (University of Vantaa, Finlande)

et **Michael Duncan** (Coventry University, UK), et enfin **Georges Dalleau** (Université de La Réunion). Espérons que nous pourrons bientôt regoûter à la richesse des échanges scientifiques de ces séminaires. Pour vous tenir informé des prochaines dates, merci de suivre notre actualité en cliquant [ici](#). Keep in touch !

Soutenance de thèse de Marine Alhammoud



Marine Alhammoud a soutenu sa thèse intitulée « Contribution à l'analyse de l'activité neuromusculaire des skieurs alpins élités lors de tests isocinétiques et en conditions réelles d'entraînement » le 6 décembre 2019 au sein de l'Université Claude Bernard, LYON1. La thèse de Marine a permis de **caractériser la fonction neuromusculaire des skieurs alpins élités**, notamment au regard de leur discipline de spécialité, afin d'améliorer les procédures de tests isocinétiques réalisés en routine dans le cadre du suivi de l'athlète de haut niveau. Après une revue de littérature quasi exhaustive sur le ski moderne et les tests isocinétiques, Marine a abordé les études qui composent sa thèse et qui ont porté en premier lieu sur une nouvelle méthode d'analyse des tests isocinétiques par cartographie statistique paramétrique (SPM) pour analyser la force des muscles extenseurs et fléchisseurs de la cuisse chez des skieuses et

skieurs élités. L'analyse traditionnelle des tests isocinétiques via les pics de couples s'est révélée moins performante que l'analyse SPM pour détecter des différences entre les sous-groupes. Ainsi les femmes présentent des déficits du ratio ischio-jambiers / quadriceps à proximité de l'extension maximale du genou qui restent à expliquer. Une autre étude s'est intéressée à l'étude de la fatigue en normoxie et en hypoxie lors de la répétition de contractions isocinétiques. Cette étude a montré que le pic de couple ne permettait pas de caractériser finement les effets de la fatigue et de l'hypoxie sur la capacité de performance du skieur et a mis en évidence l'importance de prendre en compte le taux de développement de la force. Suite à ces études en laboratoire, Marine a rapporté les résultats de trois études écologiques effectuées sur le terrain, destinées à mieux caractériser les besoins spécifiques du ski de haut niveau. Ces études ont mis en évidence l'importance de considérer une phase isométrique dans l'analyse du mouvement pour mieux caractériser les disciplines de vitesse. Enfin, la méthode SPM a été utilisée sur les signaux EMG mesurés au cours de la performance pour comparer les contraintes et patterns spécifiques à chaque discipline alpine.





Le 29 janvier 2020, c'est **Jean Romain RIVIERE** qui a soutenu sa thèse à Chambéry. Encadré par Pierre Samozino, Laurent Messonnier et Nicolas Peyrot (Le Mans Université), le but de ce travail était d'**étudier l'influence de la vitesse sur les capacités de production de force des membres inférieurs lors d'efforts intenses uniques et répétés** (*i.e.* l'endurance de force).

La première partie était focalisée sur le type de modélisation pour définir la relation force-vitesse lors d'extensions maximales et acycliques des membres inférieurs. Cette première partie a apporté des éléments originaux qui supportent la linéarité de la relation force-vitesse, notamment du côté vitesse de la relation. En considérant toutes les conditions de force et de vitesse, la linéarité a été confirmée expérimentalement sur 80% du spectre total de la relation force-vitesse (*i.e.* de 6 à 86% de la vitesse maximale théorique), même en comparaison avec un modèle curvilinéaire.

La deuxième partie avait pour but i) d'étudier l'effet de la condition de force-vitesse sur l'endurance de force (*i.e.* le nombre maximal de répétitions), en contrôlant l'effet de la fréquence de répétitions, et ii) de revisiter l'effet de

l'intensité de l'exercice, communément exprimée relativement à la seule valeur de la puissance maximale obtenue à vitesse optimale (P_{max}). Les résultats montraient que l'endurance de force était davantage affectée par l'intensité de l'exercice lorsqu'elle était quantifiée par le niveau de puissance exprimée relativement à la puissance maximale spécifique à la vitesse ($P_{max}v$) que lorsqu'elle était exprimée relativement à P_{max} . Les résultats montraient aussi que les différences endurance de force était expliquée à 88% par $P_{max}v$ et à 10% par la condition de force-vitesse dans laquelle cette puissance relative est développée. L'endurance de force était plus importante lorsque $P_{max}v$ était diminuée et dans les conditions de force faible-vitesse élevée. Au-delà du nombre maximal de répétitions, les conditions de force faible-vitesse élevée permettaient de fournir un travail mécanique total plus important à un niveau de $P_{max}v$ donné.

La troisième partie visait à étudier la variabilité interindividuelle de l'effet de la condition de force-vitesse sur l'endurance de force. Suite à cette étude, il a été mis en avant que l'effet de la condition de force-vitesse sur l'endurance de force n'était pas le même chez tous les individus et notamment qu'il existe des profils d'athlètes différents : certains étant plus endurants dans des conditions de force faible-vitesse élevée ou, à l'inverse, dans des conditions de force élevée-vitesse faible. Ce profil force-vitesse-endurance individuel donne une indication sur l'orientation des capacités d'endurance vers des conditions de force faible-vitesse élevée, ou inversement. D'un point de vue pratique, ces résultats montraient qu'un individu présentant la meilleure performance d'endurance de force dans une condition de force-vitesse à un niveau de $P_{max}v$ donné, n'était pas systématiquement le meilleur dans toutes les conditions de force-vitesse. Au-delà de dépendre de l'intensité de l'exercice, l'endurance de force dépend également de ce profil force-vitesse-endurance.

Pour conclure, ce travail de thèse a confirmé que l'effet de la vitesse sur les capacités de production de force des membres inférieurs lors d'efforts uniques et maximaux était linéaire sur l'ensemble des conditions fonctionnelles de vitesse, notamment à des vitesses très élevées. Ces travaux ont également montré que lors d'efforts intenses et répétés, la condition de force-vitesse dans laquelle la puissance est développée influence l'endurance de force, indépendamment de la puissance et de la fréquence de mouvement. De plus, l'influence de cette condition de force-vitesse sur l'endurance de force n'est pas similaire chez tous les individus : chaque individu présente un profil force-vitesse-endurance qui lui est propre. Une détermination des conditions de force-vitesse-puissance semble intéressante pour évaluer et entraîner les capacités de production de force avec une approche individualisée à chacun.

Et après ? Suite à sa soutenance de thèse, Jean Romain part s'installer en Roumanie, à Timișoara, avec sa compagne pour au moins 5 ans (qui elle fera ses études là-bas). Son objectif est de se faire une place en tant qu'enseignant-chercheur dans le laboratoire de performance sportive de la ville et au sein de l'université locale. A termes, lorsque son Roumain sera bien aiguisé, il souhaiterait collaborer avec des équipes de rugby, et pourquoi pas le centre national d'entraînement de rugby, dont l'équipe fait de très bons résultats à la Coupe des Nations. Mult noroc Jean Romain !



Bravo également à **Clément Boulard** qui a soutenu sa thèse à Saint-Etienne le 27 mai dernier. Encadré par Thomas Lapole et Vincent Gautheron, ce travail de thèse s'intitulait « Caractérisation des propriétés passives des muscles fléchisseurs plantaires chez l'enfant Paralysé Cérébral spastique ». L'objectif principal de cette thèse était de mieux **comprendre le concept de « raideur passive » appliqué à l'unité musculo-tendineuse (UMT) et aux muscles parétiques et spastiques de l'enfant paralysé cérébral (PC)**. Les muscles fléchisseurs plantaires, et notamment le muscle gastrocnémien médial (GM), classiquement atteints par de multiples déficits neuromusculaires, ont constitué l'objet d'étude au sein d'une revue de littérature narrative et de quatre contributions expérimentales menées chez l'enfant PC unilatéral (PCU). Le concept de « raideur passive »

renvoit à une définition biomécanique précise (i.e. $\Delta\text{Force}/\Delta\text{Longueur}$) indépendamment de celle de la rétraction musculo-tendineuse (i.e. diminution de longueur tissulaire). Dans la littérature, cette distinction est rendue difficile par l'hétérogénéité du matériel et des méthodes de mesure utilisés, des caractéristiques intrinsèques de la population étudiée et des méthodes de traitement des données. L'utilisation d'un dynamomètre, le plus souvent de type isocinétique, permet de mesurer la raideur passive de l'ensemble de l'UMT du Triceps sural. Cette mesure est reproductible chez l'enfant PCU mais les valeurs enregistrées dépendent de la méthode de traitement des données. Cette méthode dite « dynamométrique » ne renseigne pas sur le niveau de tension passive d'un muscle spécifique tel que le muscle GM. La technologie Shear Wave Elastography (SWE) permet de s'affranchir de cette limite. Néanmoins, il manque des preuves de la reproductibilité des mesures réalisées chez l'enfant PC spastique et l'interprétation des résultats reste sujet à caution. Les méthodes dynamométriques et SWE permettent de mettre en évidence une élévation du niveau de tension passive des muscles fléchisseurs plantaires du membre parétique par rapport au membre non-parétique, associée à la diminution significative d'amplitude maximale de flexion dorsale de cheville côté parétique. Ce résultat semble être la conséquence d'une différence de propriétés morphologiques (i.e. longueur musculaire et tendineuse) entre les deux membres plutôt que d'une différence de propriétés élastiques (i.e. raideur passive). Les étirements musculo-tendineux passifs de longue durée et de haute intensité présentent une efficacité immédiate sur le gain d'amplitude de flexion dorsale de cheville chez le sujet PCU spastique. Ce résultat apparaît lié à une augmentation de la tolérance à l'étirement plutôt qu'à une modification des propriétés élastiques du membre parétique. Tout au long de la croissance, une mesure régulière des propriétés élastiques (i.e. raideur passive) et morphologiques (i.e. longueur musculaire et tendineuse) des muscles fléchisseurs plantaires parétiques et spastiques de l'enfant PC permettrait de mieux comprendre le développement des rétractions musculo-tendineuses et d'évaluer les effets des traitements répétés.



Emeric STAUFFER

Rôle de l'hypoxie dans la physiopathologie de la drépanocytose et du mal chronique des montagnes

Equipe : VBRBC ; En thèse depuis novembre 2017

Encadrement : Philippe CONNES et Vincent PIALOUX



L'exposition des organismes à l'hypoxie (intermittente ou permanente) est à l'origine de réponses qui peuvent être délétères et conduire au développement de certaines pathologies. Bien que peu étudiée jusqu'à présent, la prévalence du syndrome d'apnées obstructives du sommeil (SAOS) dans la population drépanocytaire semble non négligeable. L'objectif principal de la première partie de ce travail de thèse est d'évaluer l'effet du SAOS sur la fréquence des complications vaso-occlusives chez le patient drépanocytaire, avec pour objectifs secondaires d'évaluer l'impact du SAOS sur les variables biologiques/physiologiques impliquées dans la survenue des événements vaso-occlusifs, et d'évaluer les effets de la correction des anomalies respiratoires du SAOS après un traitement par pression positive continue.

La deuxième partie de ce travail s'intéresse à l'exposition chronique à l'hypoxie, qui représente un challenge pour plus de 140 millions d'individus résidant à une altitude supérieure à 2500m. Afin de maintenir des apports suffisants en dioxygène aux tissus, l'organisme s'adapte en augmentant la concentration d'hémoglobine. Une part importante de ces individus (5-33%) développe des symptômes de mal adaptation ou mal chronique des montagnes. Le mal chronique des montagnes est caractérisé par une polyglobulie excessive associée à un ensemble de symptômes en particulier cardiovasculaires et neurologiques. Le rôle de la viscosité sanguine dans la physiopathologie du mal chronique des montagnes n'est pas encore clair. Ainsi, le premier objectif de cette deuxième étude est d'étudier l'effet de la vie permanente en haute altitude sur l'hématocrite, la concentration en hémoglobine et les paramètres hémorhéologiques (viscosité sanguine et agrégation érythrocytaire). Le second objectif est de comparer les valeurs d'hématocrite, de concentration en hémoglobine et les paramètres hémorhéologiques en fonction de la sévérité du mal chronique des montagnes.

Etienne GOURAUD

Influence du muscle squelettique dans l'intolérance à l'exercice du patient drépanocytaire

Equipe : VBRBC ; En thèse depuis octobre 2017

Encadrement : Christophe HAUTIER et Camille FAES



La drépanocytose désigne un ensemble de syndromes, de sévérité clinique variée, partageant une même mutation au niveau du gène codant pour la chaîne bêta de l'hémoglobine. Les patients atteints de cette pathologie sont caractérisés par une intolérance à l'exercice importante communément expliquée par les limitations cardio-respiratoires et l'anémie observées chez ces patients. Cependant, le rôle du muscle squelettique dans cette intolérance à l'exercice n'est pas encore bien décrit chez le patient drépanocytaire. Des études récentes ont commencé à caractériser le muscle squelettique dans la drépanocytose au niveau histologique mais aussi fonctionnel. En effet, les patients drépanocytaires homozygotes (SS) ont une force maximale isométrique réduite par rapport à des sujets sains (AA) au cours d'un exercice de préhension. De plus, dans un modèle de souris drépanocytaires Townes, il a été montré que les souris SS étaient caractérisées par une diminution de la force isométrique maximale ainsi que par une fatigabilité accrue comparées à des souris AA. Cependant, la fatigabilité du muscle squelettique drépanocytaire n'a pas encore été caractérisée. Ainsi, l'objectif de cette thèse est de caractériser la fonction du muscle squelettique drépanocytaire et de ses liens avec l'intolérance à l'exercice observée chez les patients. La principale étude clinique de cette thèse est d'étudier les modifications de la fonction musculaire au cours d'un exercice mono-articulaire sous maximal et d'un test de marche de 6 minutes chez des patients drépanocytaires SS et hétérozygotes SC. Dans un second temps, nous étudierons les déterminants biologiques de ces modifications, notamment au niveau hématologique. Enfin, en parallèle, les mécanismes cellulaires qui pourraient expliquer la dysfonction musculaire observée dans la drépanocytose seront étudiés en utilisant un modèle transgénique de souris drépanocytaire, le modèle Townes. Les résultats de cette thèse permettront d'améliorer la compréhension des altérations musculaires, notamment fonctionnelles, du muscle squelettique dans le contexte pathologique de la drépanocytose.

Mélanie ROBERT

Mise en œuvre et développement de techniques permettant la caractérisation de globules rouges encapsulant des molécules thérapeutiques

Equipe : VBRBC ; En thèse depuis mars 2018

Encadrement : Philippe CONNES, Philippe JOLY et Agnès CIBIEL

Thèse réalisée sous clause de confidentialité avec la Société Erytech Pharma.



Romain FORT

Implication des Neutrophil Extracellular Traps (NETs) dans la physiopathologie de la drépanocytose

Equipe : VBRBC ; En thèse depuis février 2019

Encadrement : Philippe CONNES et Nicolas GUILLOT



La drépanocytose est la maladie génétique la plus fréquente dans le monde, caractérisée par une mutation du gène de la β -globine à l'origine d'une hémoglobine (Hb) anormale appelée HbS. Sous sa forme désoxygénée cette dernière tend à se polymériser entraînant ainsi des désordres rhéologiques, se manifestant cliniquement par une hémolyse chronique et des épisodes itératifs d'occlusions microvasculaires. La libération de signaux de danger (DAMPs) lors de ces phénomènes répétés d'ischémie-reperfusion, ainsi que la présence d'hème libre issue de l'hémolyse intravasculaire vont tous deux participer au statut pro-inflammatoire des patients drépanocytaires ; statut reconnu depuis peu comme

étant impliqué dans la physiopathologie de cette maladie. En plus de son implication dans l'activation cellulaire, l'inflammation pourrait également participer à l'excès d'allo-immunisation et d'auto-immunité rencontré dans cette population de patients. L'hème peut participer à cette réaction immunitaire via notamment l'activation de la voie de l'inflammasome (TLR4), et la production de certaines cytokines inflammatoires (notamment IL-1 β et IL-18). L'hème serait également capable de stimuler la libération de pièges neutrophiliques (Neutrophil extracellular traps, NETs) via l'activation des polynucléaires neutrophiles (PNN). Décrits pour la première fois dans les années 2000, les NETs étaient initialement considérés comme des réponses anti-microbiennes. En effet, les bactéries attirent les PNN qui vont alors s'activer et libérer dans le milieu extracellulaire leur contenu nucléaire (ADN et histones) et granulaire (myéloperoxydase) formant ainsi un réseau fibrillaire capable de piéger et détruire les bactéries. Les NETs sont également impliqués dans d'autres pathologies non infectieuses telles que l'inflammation, l'athérosclérose, la thrombose, l'auto-immunité. Ces processus étant également décrits dans la drépanocytose, ce projet de thèse vise alors à répondre aux questions suivantes :

1. La concentration de NETs est-elle plus élevée dans la drépanocytose, et est-elle associée au degré de la maladie ?
2. Les NETs sont-ils plus élevés dans la drépanocytose en situation aigüe de crises vaso-occlusive ?
3. Quelle conséquence des NETs sur la fonction vasculaire via une approche en culture cellulaire et au lit du patient ?
4. Quel est le niveau des NETs et de l'inflammation chez les patients drépanocytaires atteints d'une maladie auto-immune ; et quel est l'impact du traitement de fond sur ces deux paramètres ?

Sofia ESPERTI

Caractérisation structurelle et fonctionnelle des globules rouges dans des conditions physiologiques, thérapeutiques et pathologiques

Equipe : VBRBC ; En thèse depuis mai 2020

Encadrement : Philippe CONNES et Agnès CIBIEL

Thèse réalisée sous clause de confidentialité avec la Société Erytech Pharma.



Laurianne PINLOCHE

Influence de la fonctionnalité du rachis cervical sur l'équilibre du senior : impact de la thérapie manuelle

Equipe : SPIP ; En thèse depuis 2016

Encadrement : Karine MONTEIL, Sophie BERTOUZE et Christophe HAUTIER



Dans un contexte de vieillissement global de la population, prévenir la perte d'autonomie afin de favoriser le maintien à domicile dans de bonnes conditions est une priorité. Les facteurs de préservation des capacités fonctionnelles sont nombreux et parmi eux l'équilibre, qu'il soit statique ou dynamique à la marche joue un rôle essentiel. Le rachis cervical est une structure clef de maintien de l'équilibre à la fois par sa situation anatomique de support des structures centrales et vestibulaires, son rôle biomécanique d'adaptation des contraintes et son fonctionnement physiologique riche en mécanorécepteurs et boucles réflexes. Cependant il semble sous-investigué et sollicité dans les protocoles de prise en charge des troubles de l'équilibre ou simplement de préservation de la mobilité. La thérapie manuelle, quant à elle, est une prise en charge non invasive et sans effets secondaires qui semble montrer des effets intéressants dans le traitement de douleurs ou troubles posturaux. L'objectif de cette thèse est donc d'évaluer l'impact d'une prise en charge du rachis cervical chez des sujets de plus de 65 ans, sur les paramètres de l'équilibre et de la marche. Les moyens à mettre en œuvre sont nombreux : évaluation de la reproductibilité d'un matériel de mesure de force et de souplesse cervicale, création d'un protocole de mesures ambulatoires adapté aux sujets âgés, vérification de l'adéquation de l'hypothèse de l'influence du rachis cervical et enfin mise en place d'une étude interventionnelle autorisée par un CPP.



Qingshan ZHANG

Effect of fatigue on hamstring strain injuries (HSIs) in the soccer player

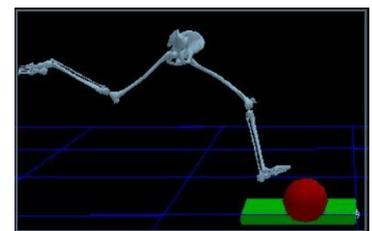
Equipe : SPIP ; En thèse depuis décembre 2017

Encadrement : Christophe HAUTIER et Pierre LEGRENEUR



Epidemiological studies consistently report that hamstring strains injuries (HSIs) are primary muscular injuries which represent 12% to 14% of all injuries in professional soccer players. In the previous studies, many predisposing etiological risk factors have been concluded that hamstring strain injuries were relating to insufficient flexibility, inadequate warm-up, muscle strength weakness, previous injury, strength imbalance between hamstrings and quadriceps, muscular architecture and core stability. Besides, muscular fatigue is often identified as a major risk factor linked to the high incidence of HSIs according to the appearance of HSIs, which often occur in the later stage of the match.

Fatigue can be defined as a reduction in the force-generating capacity of the neuromuscular system regardless of the level of force required. Especially, match-related neuromuscular fatigue may reduce the energy absorption capabilities of the hamstring, which may lead to HSIs during the terminal swing phase in sprint running. Therefore, understanding the coordination of muscular torque and the strain conditions of the hamstring during sprinting following fatigue is beneficial to explore the mechanics of HSIs. Notably, the hamstring strain between different phase (i.e., maximal acceleration, maximum velocity) of the sprint after neuromuscular fatigue remain unknown. Therefore, the purpose of this thesis was to investigate the hamstring strain during the different sprint running phases after neuromuscular fatigue.



Pierre-Hugues IGONIN

Les effets du Cycle Menstruel sur les facteurs de performance en football féminin de haut-niveau

Equipe : SPIP ; En thèse depuis février 2018

Encadrement : Cyril MARTIN et Nathalie BOISSEAU



Le cycle menstruel (CM) est caractérisé par d'importantes variations hormonales chez la femme. Ces variations peuvent influencer les réponses physiologiques, notamment au cours de l'exercice. De nombreuses études ont cherché à mettre en évidence, via des tests en laboratoire, l'influence que peut avoir le CM sur les qualités physiques, qu'elles soient, anaérobies, les propriétés contractiles musculaires, l'aspect bio-informationnel (perception de l'environnement), l'humeur ou encore la perception de la difficulté à effectuer un effort. Cependant toutes ces études ne sont pas unanimes quant au(x) rôle(s) joué(s) par les hormones et leurs fluctuations sur les qualités physiques chez la femme. L'absence de consensus sur les protocoles et notamment sur les jours du cycle auxquels sont effectués les tests expliquent en partie les différences des résultats et conclusions de ces études.

L'objectif de notre travail de thèse est de déterminer si les 3 principales phases du cycle menstruel (qui présentent chacune une combinaison hormonale singulière en œstradiol 17-B et progestérone) sont caractérisées, chez des joueuses de niveau national, par des variations (i) des qualités physiques spécifiques au football, (ii) des performances en match, (iii) des perturbations inflammatoires et hémorhéologiques et (iv) des variations de l'état psychologique de ces joueuses.

Robin TRAMA

Etude des vibrations dans la pratique sportive et de leurs effets sur l'organisme

Equipe : SPIP

En thèse depuis octobre 2018

Encadrement : Christophe HAUTIER et Yoann BLACHE



Cette thèse vise à caractériser les vibrations des tissus mous (i.e., leurs amplitude, fréquence, amortissement) dans différentes pratiques sportives, telles que la course à pied, le tennis ou les sports collectifs, et d'évaluer le lien entre les vibrations et l'apparition de fatigue musculaire.

Les tissus mous sont composés du muscle, qui est le tissu d'intérêt, mais aussi de tissus plus superficiels comme la graisse et la peau. Les vibrations étant mesurées grâce à des accéléromètres fixés sur la peau, nous avons évalués l'influence des tissus superficiels sur la vibration mesurée, en la comparant à la vibration musculaire mesurée par échographie ultra rapide. Cette étude nous a montré que plus le pli cutané sous l'accéléromètre était important, moins les vibrations mesurées sur la peau reflétaient les vibrations musculaires.

De plus, nous avons évalué comment les conditions de la pratique sportive, comme la vitesse de course ou le mouvement effectué, modifiaient les vibrations. L'augmentation de la vitesse de course a entraîné des impacts et des vibrations plus importants et à plus hautes fréquences, mais ces vibrations restaient à plus faible amplitude que celles expérimentées en sports collectifs, comme des réceptions ou des changements de directions.

L'objectif final est de déterminer quelles caractéristiques de la vibration peuvent être liées à l'apparition de fatigue et de dégâts musculaires. Ces résultats pourront permettre d'améliorer le suivi de la charge du sportif, en ajoutant le suivi d'une dose de vibration subies, mais aussi d'orienter les industriels du monde du sport dans l'élaboration de matériels et solutions amortissantes.

Dimitri JURE

Evaluation fonctionnelle après pathologies orthopédiques. Validation de batteries de tests pour le retour au sport après chirurgie stabilisatrice de l'épaule par procédure Latarjet

Equipe : SPIP ; En thèse depuis novembre 2018

Encadrement : Isabelle ROGOWSKI et Yoann BLACHE



Lors des activités physiques et sportives, le complexe de l'épaule est la troisième région du corps la plus touchée derrière le genou et la cheville et représente près de 9,7% du total des blessures. Ces blessures provoquent généralement des instabilités antérieures qui peuvent être récidivantes et sont, le plus souvent, réduites par traitement chirurgical, qui est favorisé chez des jeunes sportifs actifs. Plusieurs techniques chirurgicales existent mais celle privilégiée reste la procédure Latarjet, notamment pour son faible taux de récurrence. Le retour au sport intervient aux alentours du 6ème mois post-opératoire et dans 75,8% des cas, la décision du retour au sport est uniquement basée sur le délai post-opératoire. L'évaluation des possibles

déficits fonctionnels des sportifs après leur rééducation paraît nécessaire pour accompagner le recouvrement des capacités fonctionnelles de l'épaule et guider la prise de décision du retour au sport.

L'objectif de la thèse est de développer et valider un score composite, à partir d'une batterie de tests psychologique et physiques, qui servira d'outil de diagnostic pour un retour au sport performant et sécuritaire après réduction de l'instabilité antérieure de l'épaule par procédure Latarjet. Le travail de recherche s'articule autour de trois études. La première vise la création et la validation, basée sur la méthodologie COSMIN, d'un score composite pour une population de sportifs ayant subi une chirurgie stabilisatrice de l'épaule par procédure Latarjet. La deuxième étude concerne l'évaluation du caractère prédictif du score composite sur la qualité et le niveau de retour au sport à 1 an post-opératoire. La troisième étude vise l'évaluation des effets de protocoles de réathlétisation innovants sur le recouvrement des capacités fonctionnelles de l'épaule chez une population de sportifs opérés d'une butée antérieure par procédure Latarjet.

Matthieu DEGOT

Compréhension de la biomécanique de l'épaule : prévention de l'instabilité glénohumérale et amélioration du retour au sport après chirurgie

Equipe : SPIP ; En thèse depuis octobre 2019

Encadrement : Isabelle ROGOWSKI et Yoann BLACHE



L'objectif de cette thèse est d'apporter des éléments de compréhension sur la biomécanique de l'épaule pour permettre une meilleure prévention de l'instabilité glénohumérale et une amélioration du retour au sport après chirurgie. Cet objectif se décline en trois sous-objectifs.

1/ Evaluer la validité de construit des tests évaluant les propriétés fonctionnelles de l'épaule,

La cinématique, la cinétique et l'activité électromyographique des muscles de l'épaule seront enregistrées au cours de trois tests de performance physique, i.e. Unilateral Seated Shot Put test, Upper Quarter Y Balance Test, et Closed Kinetic Upper Extremity Stability Test, pour produire des indicateurs de stabilité, de force, etc... Ainsi ces indicateurs devraient permettre de déterminer les fonctions de l'épaule réellement évaluées par ces tests.

2/ Identifier les facteurs de risque de survenue et de récurrence de blessures affectant l'épaule du joueur de rugby,
Une étude prospective sera réalisée au sein du LOU rugby durant laquelle les joueurs réaliseront une batterie de tests fonctionnels et analytiques en présaison. Au cours de la saison compétitive, la charge de travail sera quantifiée et les blessures subies par les joueurs caractérisées. L'analyse statistique exprimera le statut de l'épaule (blessée/non-blessée) en fonction des évaluations fonctionnelles, analytiques, et de la charge de travail pour ainsi identifier les facteurs de risque de survenue et de récurrence de blessures à l'épaule.

3) Etudier les effets de la technique chirurgicale de Latarjet sur la cinématique scapulaire et sur l'activation des muscles péri-scapulaires.

Un groupe patient et un groupe contrôle participeront à deux sessions d'évaluation : avant l'opération et à 3 mois post-opératoires pour le groupe patient et à 3 mois d'intervalle pour le groupe contrôle. Lors de ces évaluations, la cinématique scapulaire et l'activité des muscles scapulaires seront mesurées. Ces données permettront d'évaluer les modifications de cinématique et d'activité musculaire induites par la chirurgie de Latarjet.

Lisa FLEURY

Adaptation ou apprentissage ? Distinguer les processus de plasticité sensori-motrice : approche comportementale, imagerie motrice et stimulation cérébrale transcrânienne

Equipe : MP3 ; En thèse depuis septembre 2017

Encadrement : Yves ROSSETTI et Christian COLLET



La plasticité qui caractérise notre système nerveux nous permet de réaliser des mouvements fluides et précis malgré des conditions changeantes. La compréhension de ces processus et des éléments qui les distinguent représente un intérêt majeur. Dans le cadre de la réhabilitation des désordres moteurs, il est primordial de distinguer les processus qui conduisent à une généralisation des compensations acquises. L'objectif de cette thèse est d'apporter des éléments théoriques à la compréhension et à la distinction des processus de plasticité sensori-motrice. Plus spécifiquement, il s'agit d'isoler les caractéristiques des processus permettant un transfert des compensations acquises. De plus, il est question d'identifier les structures cérébrales jouant spécifiquement un rôle dans ces mécanismes de transfert.

Pour remplir ces objectifs, nous employons une approche comportementale à travers le paradigme de l'adaptation prismatique, utilisant des lunettes qui dévient le champ visuel. Nous étudions le transfert des compensations acquises durant l'exposition prismatique depuis une tâche motrice vers une autre n'ayant pas été pratiquée pendant l'exposition. De plus, nous utilisons la stimulation cérébrale transcrânienne afin de moduler l'activité des zones cérébrales cibles dans le but d'étudier le lien entre ces régions et les fonctions d'adaptation et de transfert. L'imagerie motrice constituera une approche mentale complémentaire pour identifier les mécanismes clés du transfert (rôle de la réalisation motrice, importance des réafférences sensorielles). Une dernière approche est l'étude de cas cliniques impliquant des patients souffrant de lésions ciblées du cervelet ou du cortex pariétal. Dans une visée translationnelle, des perspectives d'application sont envisagées dans le domaine de la rééducation des désordres moteurs, dans le but d'optimiser pour les patients le transfert des compensations motrices acquises en thérapie vers d'autres contextes de la vie quotidienne.

Yann KERAUTRET

Caractérisation de modèles de massages automatisables et la validation des bénéfices physiologiques d'un système de massage robotisé, autonome et interactif

Equipe : MP3 ; En thèse depuis septembre 2017

Encadrement : Aymeric GUILLOT et Franck DI RIENZO



Cette thèse s'intègre au projet de conception et de développement d'un robot de massage autonome de la société Capsix Robotics, en collaboration étroite avec le Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité. Ce projet de recherche est constitué de trois phases. La première partie consiste à la réalisation d'une revue de littérature suite à une analyse du champ de recherche attrait au massage manuel, l'auto-massage le massage robotisé. Ce travail a pour but de construire un cadre théorique de référence, identifier les effets neurophysiologiques et psychologiques de ces différentes modalités de massage. Cette recherche bibliographique a pour second intérêt l'identification de paramètres pertinents et proposer ultérieurement une expérience

utilisateur sensorimotrice stochastique avec le robot de massage. Lors de la seconde phase, des expériences sont menées avec pour objectif de compléter les connaissances ayant attrait aux sujets du massage manuel et de l'auto-massage par la mesure de l'activité cérébrale notamment. En dernier lieu, ce projet vise à l'objectivation scientifique par une étude comparative à partir de données subjectives et objectives entre un massage manuel et un massage robotisé. Cette dernière étude a pour but de rendre compte de la qualité du massage offert par le robot de massage.



Hanna MIRA

Déficit du modèle interne et de la représentation mentale chez les enfants TDC âgées entre 8 et 12 ans : implications cliniques et cérébrales

Equipe : MP3 ; En thèse depuis 2018

Encadrement : Aymeric GUILLOT, Ursula DEBARNOT et Kabaiter MAARRAWI



La théorie du déficit du modèle interne tente de justifier les altérations neurocognitives relatives au TDC. Selon cette théorie, la représentation interne du mouvement permet la stabilité du système moteur à travers l'anticipation du résultat du mouvement avant l'obtention du feedback sensori-moteur lent. Un dysfonctionnement de ce mode de contrôle pourrait affecter sévèrement les capacités d'apprentissage moteur (Adams et al., 2014). Partant de ces faits, il serait intéressant d'investiguer les capacités d'imagerie motrices chez les enfants TDC et leur corrélation avec les capacités motrices.

L'imagerie motrice est l'une des composantes majeures de la représentation interne du mouvement. Les nombreuses recherches menées autour de l'imagerie motrice à ce jour font apparaître les effets favorables de cette technique sur l'apprentissage et la performance d'une habileté motrice (Lebon, 2009). Selon Reynolds et al. (2015), les enfants avec TDC sont capables d'utiliser l'imagerie motrice. Nous nous intéressons alors aux effets d'un protocole de rééducation par le biais de l'imagerie motrice sur l'amélioration de cette capacité et par la suite l'amélioration des capacités motrices.

Malgré un consensus dans la littérature sur un déficit des capacités d'imagerie motrice chez les sujets avec TDC (Adams et al., 2014 et 2017 ; Williams et al. 2008 ; Reynolds et al. 2015), ces données ne sont pas soutenues par des corrélats neurologiques. En effet, récemment, plusieurs études se penchent sur les fondements neuro-anatomiques du TDC et les corrélats cérébraux de ce trouble sont mis en relief sans pour autant investiguer les corrélats cérébraux du déficit de représentation interne. Ainsi, notre recherche s'intéressera à la détermination des corrélats cérébraux du déficit en imagerie motrice chez les enfants avec TDC à travers une étude en IRMf et une autre en tDCS.

Sophie SCHLATTER

Remédiation du stress par des techniques de stimulations cérébrales et cognitives

Equipe : MP3 ; En thèse depuis octobre 2018

Encadrement : Aymeric GUILLOT et Ursula DEBARNOT



Remédier aux impacts néfastes du stress est un enjeu sociétal important. Un stress apparaît lors d'une situation perçue comme anxiogène, et se caractérise par une augmentation de l'éveil psychologique (attention, stress perçu) et physiologique (rythme cardiaque). En général, le stress impacte négativement les capacités cognitives (stress aigu) et lorsqu'il est vécu de manière répétée (stress chronique) il induit des modifications cérébrales. À long terme, le stress chronique engendre le développement de graves maladies mentales et/ou physiques. L'avènement de nouveaux traitements comme les techniques de rétrocontrôle biologique et de stimulations cérébrales ont déjà montré certains effets bénéfiques. Cependant, l'impact isolé ou cumulé de ces méthodes sur la prévention des effets néfastes du stress à court et long terme, notamment sur les performances cognitives et les modifications structurales et fonctionnelles, reste inexploré. L'objectif de ce projet est d'identifier la technique la plus efficace pour diminuer les effets délétères induits par un stress aigu, puis de l'appliquer de manière répétée chez des individus sujets au stress chronique. Les techniques de remédiations combinées devraient significativement diminuer le stress psychologique et physiologique. Des sessions de remédiation répétées devraient promouvoir la plasticité cérébrale et favoriser une amélioration du bien-être, répondant ainsi à un besoin sociétal d'envergure.



L'apprentissage de séquences motrices comporte une phase rapide, d'acquisition, lors de la première session d'entraînement, immédiatement suivie d'une phase de consolidation, et enfin une phase lente nécessitant plusieurs sessions d'entraînement. Chez les plus de 65 ans, l'amélioration des performances durant la phase d'acquisition est comparable à celle des jeunes (20 à 40 ans). A contrario, la phase de consolidation semble altérée (King et al., 2013). Parmi les méthodes facilitant l'apprentissage moteur, la pratique de l'imagerie motrice (PIM) et la stimulation transcrânienne à courant continu (STCC) émergent ces dernières années.

Pour la phase d'acquisition, la PIM peut compléter avantageusement l'exercice réel (Malouin et al., 2013), cependant l'association PIM /pratique physique (PP) a été peu étudiée chez des sujets âgés. Pour la consolidation, Rumpf et al. (2017) ont montré qu'une stimulation anodale du cortex moteur primaire (M1) immédiatement après l'acquisition d'une séquence de mouvements des doigts (tâche manuelle) améliorait la consolidation chez des personnes âgées. Ces effets n'ont, néanmoins, jamais été testés pour des tâches séquentielles plus écologiques, impliquant l'ensemble du corps (tâche corporelle). L'objectif principal de cette thèse est de tester si une STCC anodale de M1 favorise la consolidation d'une séquence motrice complexe des doigts mais aussi du corps entier, par rapport à une stimulation placebo. Un des objectif secondaire est de tester si la méthode PIM+PP favorise l'acquisition de ces séquences par rapport à une PP seule, une PIM seule et aucun entraînement.

Patrice ROUGIER

Professeur des Universités ; LIBM Chambéry ; Equipe MP3

Les dispositifs oscillants : un outil de rééducation potentiel ?

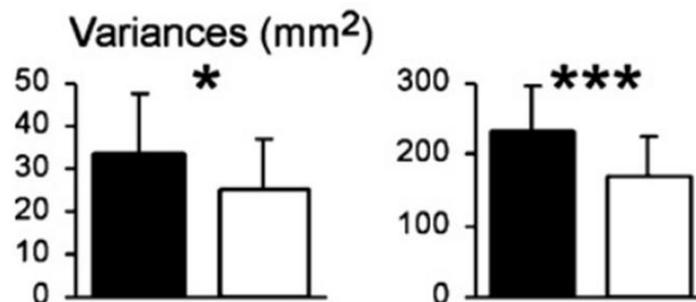


Le concept de balancelle, un dispositif constitué d'un plateau rigide reposant sur des arceaux circulaires, a été initialement utilisé dans le cadre des évaluations des astronautes en retour de mission (Severac 1992). En effet, la station debout sur sol fixe, a priori ne sollicite pas le système vestibulaire et n'est donc pas vraiment sensible au vecteur gravitaire. A l'opposé, la balancelle, en déterminant des accélérations et donc des mouvements, du corps plus important apparaissait mieux à même de mesurer ces effets d'apesanteur.

Une analyse biomécanique de ces dispositifs montre en fait que le double mouvement induit (une translation associée à une rotation) constitue un moyen simple et efficace d'amplifier les déplacements du centre des pressions (CP), la variable « contrôlante » du maintien de la station debout. C'est en effet en déplaçant ce CP que l'on arrive, quelle que soit la nature du support, à contrôler les mouvements du centre de gravité, dont la projection verticale constitue la variable « contrôlée » (Winter et al., 1996). Comme l'ont montré Ivanenko et al. (1997), le niveau de cette amplification mécanique dépend de deux facteurs, la hauteur du plateau et le rayon des arceaux. Plus la hauteur est grande et moins le rayon est important, plus grand est le niveau d'amplification et par suite l'instabilité posturale.

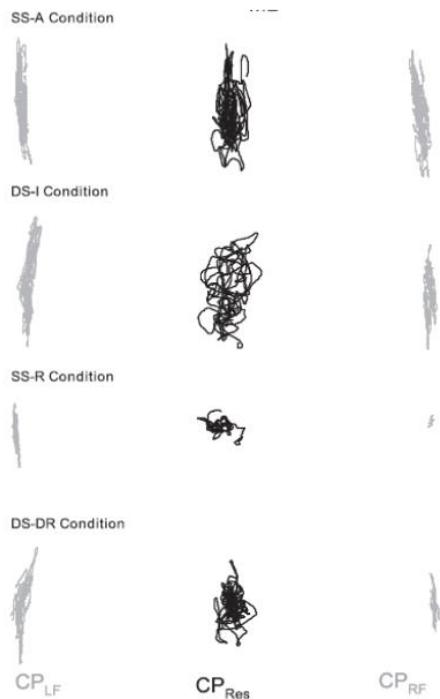
Notre premier questionnaire (Rougier et al., Neuroscience Letters, 2011) a porté sur la possibilité d'un apprentissage sensori-moteur chez des sujets jeunes en bonne santé. L'idée était que l'effet mécanique de la balancelle puisse être pris en compte au niveau de la commande centrale. Autrement dit, le système nerveux central réduirait progressivement la commande motrice (les déplacements du CP sous les pieds), prenant ainsi en compte « l'effet balancelle ».

Dans cette étude, et comme pour les suivantes, le protocole consistait pour les sujets à se tenir debout sur une balancelle (ici : hauteur 5 cm ; rayon 55 cm) sur une durée totale de 20 minutes. Son positionnement déterminait des mouvements posturaux principalement selon l'axe antéro-postérieur (tangage). Des mesures posturographiques (la balancelle étant positionnée sur une plate-forme de force) ont été effectuées avant et après ces 20 min d'entraînement. Les résultats (figure ci-contre) ont montré un effet d'apprentissage avec des diminutions des déplacements du CP statistiquement significatives selon l'axe médio-latéral ($p < 0.05$) et antéro-postérieur ($p < 0,001$). Il en a donc été conclu que la balancelle constituait bien un outil susceptible d'être utilisé à des fins d'entraînement ou de rééducation.



Variation des déplacements du CP dans les axes médio-latéral (à gauche) et antéro-postérieur (à droite) avant (en noir) et après (en blanc) apprentissage.

Une seconde étape a été d'étendre ces principes au concept de double-balancelle (une sous chacun des pieds). Le constat de départ était que la plupart des patients souffrant de déficits neurologiques ou traumatologiques se caractérisent par des asymétries posturales. Précisément, ils sont en général incapables, d'une part de répartir équitablement leur poids de corps sur leurs deux appuis, d'autre part d'exercer des déplacements de leurs CP identiques sous ces mêmes appuis. On parle alors respectivement d'asymétrie de répartition et d'asymétrie d'action. A partir du moment où le concept de double-balancelles est un outil potentiellement intéressant dans la perspective d'une rééducation des troubles de l'équilibre, il importe d'en comprendre les spécificités. Pour cela une série d'études a été menée sur des sujets jeunes dépourvus de tous déficits pathologiques. Des outils, initialement créés pour quantifier les contributions dynamiques respectives de chacun des appuis (Rougier et Genthon, 2009), ont été repris pour étudier les stratégies de contrôle de l'équilibre. Dans l'étude de **Rougier et Pérennou (Journal of Biomechanics, 2019)**, l'objectif était ainsi d'étudier les stratégies d'équilibration liées à l'utilisation d'un système de double-balancelles avec ou sans asymétrie de rayons, les hauteurs restant identiques. Plusieurs conditions dans le protocole permettaient de spécifier les effets 1) de la seule dissociation, 2) de l'asymétrie d'action lié à des différences de rayons.



Comme on peut le voir sur la figure ci-contre qui montre sur un sujet type et un seul essai les différents mouvements du CP résultant (en noir) et des CP sous les pieds gauche et droit (en gris), la dissociation des balancelles (condition DS-I) entraîne principalement une augmentation des déplacements du CP résultant selon l'axe médio-latéral par rapport à la condition où la balancelle n'est pas dissociée (SS-A). Un léger effet, non statistiquement significatif, peut être également observé selon l'axe antéro-postérieur. L'asymétrie de rayon détermine, quant à elle, des stratégies de compensations. Celles-ci consistent en des déplacements du CP accrus sous l'un des appuis, a priori celui offrant la plus grande stabilité. C'est ce qui est observé dans la condition SS-R où les déplacements du CP sont plus importants sous la balancelle sous le pied gauche, dotée du rayon le plus grand, donc la plus stable. Cette augmentation des amplitudes est en effet nécessaire pour permettre des déplacements du CP résultant suffisamment importants pour assurer correctement le contrôle du centre de gravité. On



peut se rendre compte que ce principe est également observé quand un des pieds repose sur un support stable (condition SS-R ; le support stable est à gauche).

Ce rôle différencié des appuis en fonction des conditions relatives de stabilité nous a conduit à étudier comment ces stratégies se modifiaient avec une asymétrie de répartition de poids, une caractéristique fréquente chez les patients souffrant de déficits neurologiques ou traumatologiques. Plus fondamentalement, **cette troisième étude (Rougier et al., Journal of Biomechanics, 2019)** montre que le système nerveux central, pour contrôler l'équilibre debout, est capable de moduler les stratégies de compensation décrites dans l'article précédent. Ceci s'explique par la biomécanique du CP résultant qui prend en compte à la fois les déplacements des CP sous chaque appui et la répartition du poids de corps (Winter et al., 1996).

Enfin, **une quatrième étude (Rougier et al., Motor Control, sous presse)** a permis de mettre en avant le rôle prédominant de l'appui a priori le moins stable. Notre capacité à limiter les déplacements du CP sous cet appui instable détermine le niveau de compensation sur l'appui controlatéral (plus stable).

Parmi les travaux restant à réaliser avant de penser à des applications cliniques, les effets liés à la hauteur des balancelles ou la participation des structures de haut niveau du système nerveux central devraient nous occuper encore quelques temps.

Références :

- Ivanenko YP, Levik YS, Talis VL, Gurfinkel VS (1997) Human equilibrium on unstable support: the importance of feet-support interaction. *Neurosci Lett* 235(3):109–112
- Rougier PR, Ankaoua C, Paillard T, Coquard T, Dury J, Barthod C, Perennou D (2019a) Undisturbed stance on a double seesaw: Interaction between asymmetries of the center-of-pressure patterns under each foot and weight-bearing. *J Biomech* 90:113–118
- Rougier PR, Coquard T, Paillard T, Ankaoua C, Dury J, Barthod C, Perennou D (2020) Standing on a double-seesaw device is an easy way to modify the coordination between the two feet for controlling upright stance: assessment through weight-bearing asymmetry. *Motor Control* (in press)
- Rougier PR, Genthon N (2009) Dynamical assessment of weight-bearing asymmetry during upright quiet stance in humans. *Gait Posture* 29(3):437–443
- Rougier PR, Mathias M, Tanzi A (2011) Short-term effects on postural control can be evidenced using a seesaw. *Neurosci Lett* 488:133–137
- Rougier PR, Perennou D (2019) Postural control in healthy young adults using a double seesaw device. *J Biomech* 83:214–220
- Severac A (1992) Electrical vestibular stimulation and space motion sickness. *Acta Astronaut* 28:401–408
- Winter DA, Prince F, Frank JS, Powell C, Zabjek KF (1996) Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 75:2334–2343

Pour cette quatrième lettre d'information, je vous propose d'aller à la rencontre de Thierry BUSSO.

Thomas : Bonjour Thierry, peux-tu te présenter en quelques mots pour nos lecteurs.



Thierry : Bonjour Thomas, je suis professeur de physiologie au Département STAPS à l'Université Jean Monnet et encore pour quelques mois Directeur du LIBM. J'ai quitté ma Lorraine natale pour poursuivre des études d'ingénieur à l'Université de Technologie de Compiègne tout en continuant à pratiquer le lancer de marteau. J'ai pu ensuite associer ma passion pour l'athlétisme et ma formation d'ingénieur en venant à Saint-Etienne pour travailler avec Jean-René Lacour sur la modélisation des effets de l'entraînement chez l'athlète. Cela m'a fait découvrir la physiologie de l'exercice et depuis mon activité de recherche a toujours porté sur le développement de modèles mathématiques pour étudier les adaptations physiologiques à l'exercice et à l'entraînement.

En tant que directeur du LIBM justement, quel bilan dresse-tu du précédent contrat et de la récente visite HCERES ?

Je ne pense pas qu'il soit nécessaire de reprendre ici les éléments du bilan qui ont déjà été présentés avant cette visite lors de la dernière assemblée générale et repris dans la dernière lettre d'information. En tout cas, sur l'ensemble des points de l'évaluation par l'HCERES, nous pouvons montrer des résultats que je juge très bon voire excellent. Il demeure bien sûr des points sur lesquels nous pouvons encore progresser. Je suis persuadé que cela sera le cas grâce à la politique que nous avons défini pour le prochain contrat. La visite du comité HCERES a été une réussite grâce à la participation de tous lors de sa préparation ou pendant les échanges avec le comité. Je tiens à renouveler mes remerciements à l'ensemble des collègues juniors et seniors pour leur mobilisation lors de cette journée si importante pour le laboratoire. Il nous reste à attendre le rapport du comité de visite et ses recommandations. Mais cette visite nous a permis également de faire une présentation détaillée du projet scientifique. Je crois que cela a permis à chacun parmi nous, notamment celles et ceux qui nous ont rejoint depuis la rédaction de notre dossier, d'avoir une vision plus claire de l'ensemble des activités du laboratoire et de l'évolution que nous voulons lui donner.

Je peux compléter ce bilan en tant que directeur, et je suis certain que Christian et Laurent avec qui j'ai partagé cette tâche seront d'accord avec moi. En regardant le chemin parcouru en six ans depuis que nous avons lancé l'idée de créer un nouveau laboratoire à l'échelle régionale, j'ai le sentiment que le LIBM est devenu un laboratoire très performant avec une gouvernance solide qui a permis un bon équilibre entre la gestion sur chaque site et l'intégration nécessaire pour avoir une réelle politique commune. La structuration effectuée au cours de ces années nous a permis de nous renouveler en montant pour le prochain contrat un projet scientifique ambitieux avec une nouvelle équipe de direction. Nous avons maintenant des fondations solides pour pouvoir aller encore plus loin notamment sur la reconnaissance du LIBM au niveau international et sa labellisation par un grand organisme de recherche. Je suis convaincu que l'ensemble des collègues, les responsables d'équipes et la nouvelle équipe de direction vont tout mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs dans les cinq prochaines années.

Ce bilan est aussi l'occasion pour moi et tous les membres du LIBM de te remercier toi, ainsi que Christian et Laurent, du travail de pilotage effectué. Pour le prochain contrat, tu vas donc pouvoir accorder davantage de temps à tes propres activités de recherche. Peux-tu nous dire dans quelle équipe tu t'inscris et quels sont les grands projets que tu aimerais développer ?

Je m'inscris dans l'équipe PAF avec, ce ne sera une surprise pour personne, de nouveaux projets de modélisation. Mon activité principale portera encore sur la modélisation des effets de l'entraînement en cherchant à mieux décrire comment la fatigue est cumulée avec l'enchaînement des séances d'entraînement et la conséquence sur l'effet dose-réponse.

Ce type de modélisation avait pour but de quantifier les effets cumulés des charges d'entraînement afin de déterminer comment optimiser les différentes phases de préparation d'un athlète. Mais la récupération d'une séance unique, et donc la fatigue cumulée avec la succession des séances, peut être dépendante du niveau d'intensité de la séance. Les modèles actuels reposent sur une quantification globale des charges d'entraînement qui ne permettent pas de différencier les effets spécifiques selon le niveau d'intensité. Pourtant la gestion du volume et de l'intensité des séances dans les cycles d'entraînement est un élément clé pour limiter la fatigue cumulée ou permettre sa récupération grâce à une réduction des charges de travail. La construction de nouveaux modèles tenant mieux compte des différentes composantes des charges d'entraînement serait non seulement utile à la planification de l'entraînement chez l'athlète mais également à l'établissement de programmes d'entraînement pour des sujets déconditionnés ou des patients. Nous hésitons en clinique à recourir à des séances à très haute intensité par crainte d'une mauvaise tolérance à ce type d'effort. Dans un premier temps, nous allons étudier plus particulièrement la fatigue cumulée avec l'entraînement par intervalles à très haute intensité, plus connu sous le nom de SIT. C'est un exemple typique d'un entraînement qui peut être très efficace si le bon dosage est trouvé. Les sollicitations très élevées avec les séances de SIT peuvent conduire à une fatigue trop importante ne permettant pas le succès d'un tel programme surtout s'il vise l'amélioration des qualités physiques de personnes déconditionnées. Au niveau expérimental, la fatigue cumulée sera caractérisée à partir de la performance neuromusculaire et l'activité du système nerveux autonome.

La modélisation des effets de l'entraînement restera donc au cœur de mon activité qui pourra être complétée par un versant plus fondamental s'appuyant sur les mécanismes de remodelage musculaire et d'autres projets qui me tiennent à cœur. Tout d'abord l'évaluation du stress thermique chez le sapeur-pompier qui a été initiée dans le cadre du projet Etincels2, mais également la modélisation des facteurs énergétiques de la performance que je souhaite reprendre en intégrant de façon explicite le lien entre fatigue et énergétique.

Peu de membres du laboratoire sont sensibilisés à la modélisation. Peux-tu en énoncer les grandes lignes et les outils sur lesquels tu t'appuies ?

En fait, tout le monde utilise régulièrement des modèles sans en avoir toujours bien conscience par exemple en utilisant une équation pour traiter de données ou en choisissant un test statistique pour analyser les résultats d'une expérimentation. Au-delà d'une simple utilisation de ces outils de calculs, beaucoup de collègues en biomécanique et analyse du mouvement sont également habitués à la modélisation. C'est vrai qu'en physiologie, c'est une pratique moins répandue même si aujourd'hui la masse des données que nous sommes capables de recueillir a fait naître de nouveaux besoins de modèles pour pouvoir les analyser.

Faire de la modélisation c'est chercher une représentation de la réalité pour répondre à une question. En effet, la première étape dans un travail de modélisation est de définir l'objectif visé. Cet objectif peut être de décrire ou résumer des données complexes à analyser ou de prédire ou simuler le comportement d'un système ou d'expliquer ou comprendre un phénomène particulier si l'objectif est d'ordre mécanistique. Selon les objectifs visés et après l'inventaire des informations disponibles (données théoriques, données expérimentales, lois physiques...), nous pouvons formaliser un modèle, c'est-à-dire un ensemble d'équations mathématiques, permettant de décrire le processus étudié. Les étapes suivantes sont l'identification des paramètres du modèle à partir des informations disponibles et enfin son évaluation en confrontant le modèle à la réalité. Ce n'est pas seulement pour tester sa validité qui est toujours très relative car les modèles sont toujours une simplification donc faux par nature. Il nous faut surtout montrer la valeur du modèle en démontrant son utilité en fonction des objectifs poursuivis. Un aphorisme du statisticien George Box est toujours cité quand on parle de modélisation « Tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles ».

La modélisation est donc avant tout une démarche avec une méthodologie particulière mais qui nécessite souvent d'avoir recours aux mathématiques et à des ressources permettant d'exécuter des calculs. Pour ma part, n'étant pas mathématicien, je n'utilise que des équations mathématiques qui sont relativement simples, ou qui m'apparaissent relativement simples grâce à ma formation d'ingénieur. En termes de ressources, il existe maintenant beaucoup d'outils permettant de développer ses propres programmes pour une partie des calculs. Excel et son solveur sont souvent une solution rapide et efficace sinon des logiciels comme Matlab, Scilab ou R offrent des possibilités répondant en général à mes besoins. Un ordinateur équipé d'un bon processeur a des capacités de calcul suffisantes pour les modèles sur lesquels je travaille. Cela fait longtemps que je n'ai pas eu besoin d'attendre des heures avant d'avoir le résultat de calculs. Le fait de disposer de ces outils permet d'entreprendre assez facilement des projets de modélisation. Les limites sont plutôt dans l'accès aux données qui sont nécessaires pour tester les modèles et identifier ses paramètres.

Merci Thierry.

A bientôt pour une prochaine lettre d'information ! D'ici là, bon été...