

Athena

Le mag' **scientifique**

328

Février
2017

www.athena.wallonie.be · Mensuel ne paraissant pas en juillet et août · Bureau de dépôt Bruxelles X · N° d'agrément: P002218

Société
Quels vœux formuler
à un chercheur ?

Technologie
Au volant
mais sans conduire !



LE DOSSIER

Biomécanique:

la différence
par le **geste**



Texte : Philippe LAMBERT • ph.lambert.ph@skynet.be
www.philippe-lambert-journaliste.be

Photos: LAMH

De nos jours, l'étude des paramètres biomécaniques est indispensable à la performance sportive. Différents systèmes et procédés permettent de «disséquer» le geste de l'athlète dans un but d'amélioration de la performance, mais aussi de prévention lésionnelle. À Liège, le Laboratoire d'analyse du mouvement humain est à la pointe du combat en la matière. Et son expertise ne se limite pas à la seule sphère sportive...



LE MOUVEMENT À LA LOUPE

Parmi plusieurs attributions, le LAMH est le centre expert pour l'analyse biomécanique chez les sportifs sous contrat de la Fédération Wallonie-Bruxelles. L'ensemble de ses équipements sont à la pointe du combat. Ils comprennent tout d'abord des systèmes optiques. Voués à l'étude de la cinématique articulaire - déplacements, vitesses et accélérations des segments corporels -, ils reposent essentiellement sur des techniques optoélectroniques et vidéo. Dans le premier cas, des marqueurs (habituellement des capteurs infrarouges) sont posés sur la peau ou la tenue du sujet, à proximité des articulations. Quand le sportif se meut, des unités 3D photosensibles détectent en temps réel le mouvement des marqueurs. Grâce à des logiciels de traitement de données, le biomécanicien obtient la restitution des déplacements des segments corporels dans l'espace à 3 dimensions, de même que le calcul des vitesses et des accélérations.

Il existe une difficulté particulière inhérente aux systèmes optoélectroniques. En effet, lors des enregistrements 3D, les capteurs infrarouges sont posés le plus souvent sur la peau. Or, les déplacements de celle-ci ne sont pas le parfait décalque des mouvements animant les segments osseux qu'elle recouvre. Par exemple, on observe un important glissement cutané lors des mouvements de l'omoplate, alors que ce glissement s'avère beaucoup moindre dans le cas du genou. «L'estimation du mouvement est donc empreinte d'une erreur qui va dépendre des segments étudiés, du mouvement réalisé et de son amplitude, de la morphologie du sujet, du placement des marqueurs et des post-traitements de correction», écrivaient en 2013 des chercheurs du LAMH dans un article (1) dont le premier auteur était Cédric Schwartz, ingénieur et responsable du laboratoire liégeois.

Il est du ressort des ingénieurs de travailler à la définition d'algorithmes de «recalage» qui permettraient de contourner l'écueil, d'améliorer la qualité des évaluations. Il s'agit d'une mission complexe. D'autant qu'il faut tenir compte, dans les corrections, de différences inter-individuelles liées notamment à l'importance de la masse musculaire et de la

masse grasseuse. «Des progrès sensibles ont été réalisés mais, pour l'heure, il n'existe pas encore de technique de mesure parfaite à la fois non invasive et dynamique», indique Cédric Schwartz. Ce problème technique est révélateur de l'impérieuse nécessité d'une approche multidisciplinaire de la biomécanique, à la croisée des sciences médicales, de l'ingénierie et de l'expertise des entraîneurs sportifs.

À côté des unités 3D, le LAMH possède plusieurs caméras 2D à haute vitesse, dont une submersible destinée à enregistrer les mouvements des nageurs. Elles sont gérées par un logiciel sophistiqué de traitement vidéo, baptisé *Dartfish*, et sont à même de fournir 50 à 120 images par seconde. Leur couplage permet de reconstituer le mouvement de l'athlète sous plusieurs angles de vues. Elles sont particulièrement indiquées pour un emploi sur le lieu même de l'entraînement sportif. «Gilles Berwart, notre spécialiste dans l'utilisation de ces caméras, accompagne certaines fédérations ou, comme ce fut le cas avec la championne olympique Nafissatou Thiam, certains athlètes de haut niveau lors de stages d'entraînement individuels», rapporte Jean-Louis Croisier, professeur au département des sciences de la motricité à la Faculté de médecine de l'ULg. Et d'ajouter: «Nous agissons à la demande des entraîneurs. En aucune manière, nous ne cherchons à nous substituer à leur expertise.»

Un des intérêts des vidéos en 2D est de permettre à l'entraîneur et à l'athlète de visualiser directement le geste étudié et son évolution lors des tentatives de correction. Les unités 3D, elles, permettent une approche plus «microscopique», plus fouillée.

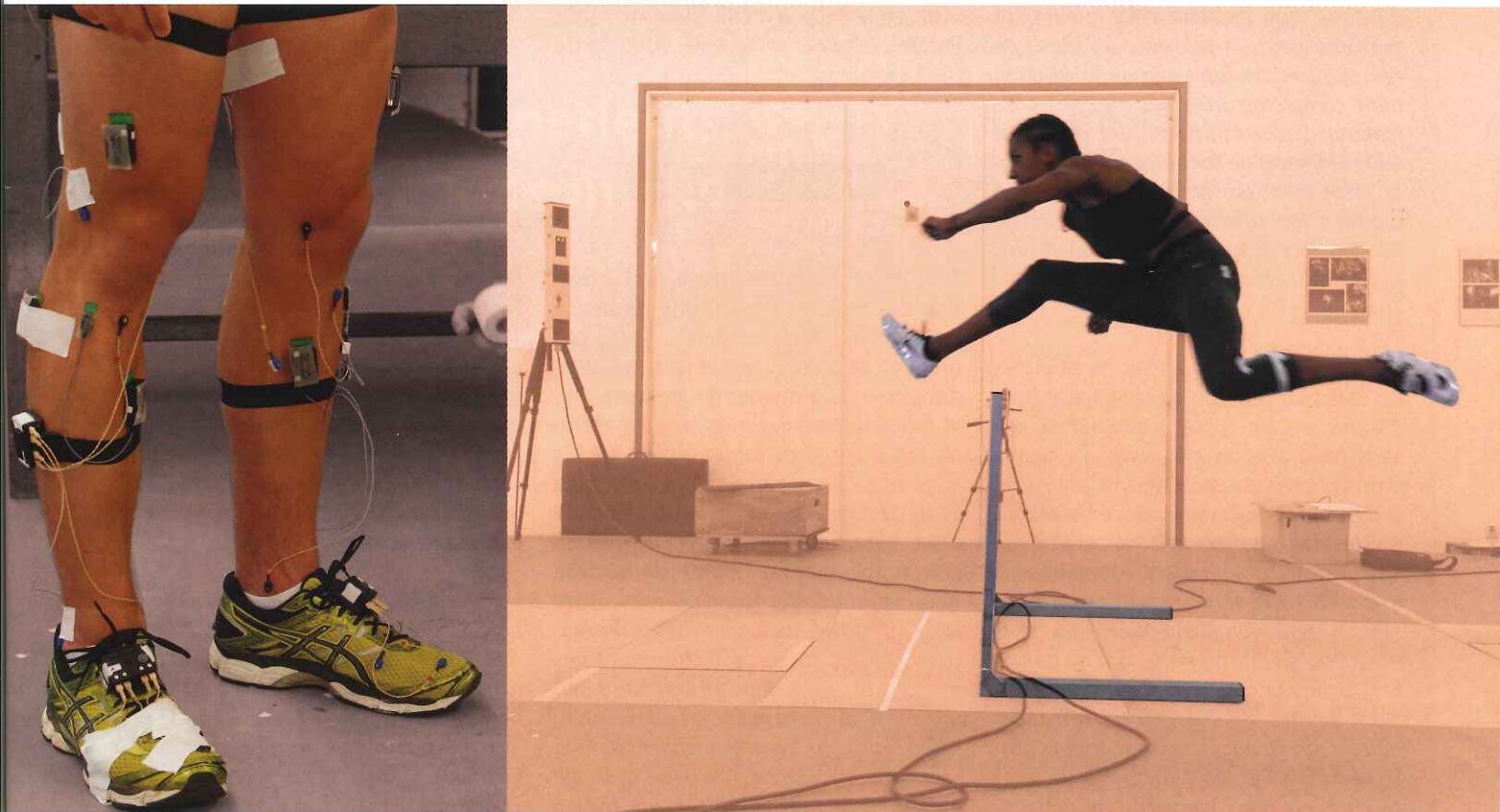
PLATEFORME SUBMERSIBLE

Les technologies 2D et 3D sont complémentaires. Tout comme elles le sont d'autres outils. Parmi les plus importants figure la plateforme de force. Celle-ci permet de mesurer les appuis exercés sur le sol (force de contact, moments de cette force, position du centre de pression).

Les plateformes de force sont généralement intégrées au sol ou à une piste,

En 2012, l'Université de Liège (ULg) a tenu sur les fonts baptismaux un «Laboratoire d'analyse du mouvement humain» (LAMH). Il s'inscrit dans une synergie avec une autre structure dépendant, elle, du CHU de Liège: *SportS²*, dirigée par le professeur Jean-François Kaux. Une entité regroupant l'ensemble des spécialités et outils qui, abstraction faite de la sphère de compétence du LAMH, intéressent les sportifs professionnels ou amateurs - chirurgie orthopédique, médecine physique, sciences de la motricité, psychologie du sport, pneumologie-allergologie (tests à l'effort), kinésithérapie, isocinétisme, diététique, cardiologie...

Le 19 octobre 2016, le binôme LAMH-*SportS²* a été consacré Centre médical d'excellence officiel par la Fédération internationale de football association (FIFA). Il est le premier en Fédération Wallonie-Bruxelles et le second en Belgique, après Roulers. Il rejoint ainsi, dans un cénacle très fermé, le centre médical du FC Barcelone, choisi pour l'Espagne, ou le centre *Aspetar*, à Doha, au Qatar. La reconnaissance de la FIFA porte sur 5 ans. Elle est exclusive: aucun autre centre en Belgique francophone ne pourra briguer le même label durant cette période.



Épaule fatiguée, épaule en danger

L'épaule est un complexe articulaire mettant en jeu 5 articulations dont la mobilisation requiert au total 19 muscles. Comme le précise Bénédicte Forthomme, professeur au département des sciences de la motricité à la Faculté de médecine de l'ULg, la conformation des surfaces articulaires autorise les mouvements les plus amples du corps et de ce fait, une gestuelle dans les 3 plans de l'espace.

Le LAMH et la cellule Sports² du CHU de Liège unissent leurs efforts pour «décortiquer» le mouvement du membre supérieur dans différents contextes. C'est ainsi, par exemple, que les chercheurs (en particulier Cosmin Horobeanu, doctorant) s'intéressent non seulement à la manière dont la fatigue modifie certains paramètres biomécaniques, mais également aux lésions potentielles subséquentes et aux mesures à prendre pour les éviter.

Ces travaux sont réalisés en collaboration avec le centre Aspetar, à Doha, qui assure la prise en charge des élites sportives du Qatar. «En volley-ball, par exemple, nous avons affaire à des athlètes dont un des membres supérieurs est soumis à des gestes intensément répétés en raison du nombre des smashes effectués, dit Bénédicte Forthomme. Or, nettement moins volumineux

que ceux du membre inférieur, les muscles de l'épaule se fatiguent beaucoup plus vite.»

Les recherches entreprises ont notamment montré que la fatigue induisait des modifications du placement de la scapula (omoplate) sur le grill costal (ensemble des côtes). Ce n'est pas anodin, dans la mesure où les travaux de diverses équipes de chercheurs ont mis en évidence que cette perturbation était une cause importante de lésions de l'épaule. «Nos analyses explicatives sont rendues difficiles par la complexité même de celle-ci, souligne notre interlocutrice. D'autant que nous devons également prendre en considération la chaîne cinétique impliquant les segments corporels allant de la tête au pied et du pied à la main.»

L'emploi de l'électromyographie de surface est d'une aide précieuse pour la compréhension de l'origine de la principale perturbation observée, le changement de positionnement de la scapula sur le thorax. Ainsi que le fait remarquer Cédric Schwartz, cette modification est très vraisemblablement provoquée par le fait que les muscles, fatigués, ne s'activent plus de la même façon qu'auparavant ou que la coordination motrice n'est plus la même. Il reste néanmoins encore à démêler l'écheveau.

de sorte que l'athlète n'est nullement perturbé par leur présence. «L'intérêt de ces mesures de force apparaît différent mais complémentaire des mesures analytiques d'isocinétisme (2) car elles sont réalisables lors de l'entraînement du sportif et donnent par conséquent des informations fonctionnelles sur le geste de l'athlète lors de mouvements complexes», peut-on encore lire sous la plume des chercheurs du LAMH (3).

La Faculté des sciences appliquées de l'ULg développe actuellement une plateforme de force submersible qui sera fixée sur un des murs verticaux d'une piscine d'essai. Objectif ? Mesurer la force de la poussée exercée sur le mur par les nageurs lorsqu'ils effectuent un «demi-tour» pour repartir dans le sens opposé. «Une fois encore, cette information sera complémentaire des tests isocinétiques que nous menons au sein de la structure SportS² et qui auront notamment permis de mesurer la force des quadriceps du nageur, commente le professeur Croisier. La plateforme de force submersible nous permettra de déterminer si l'on observe dans l'eau une perturbation du geste de nature à amoindrir la production de force et, in fine, la performance. L'utilisation d'une caméra submersible nous aidera en outre à mieux cerner la technique du nageur.»

La plateforme submersible aura également une autre vocation: rendre plus efficiente la réathlétisation des sportifs dans l'eau après une blessure. Par exemple après une intervention au niveau des ligaments croisés du genou. Grâce à la plateforme, il sera possible de quantifier les contraintes exercées aux niveaux articulaire et musculo-tendineux lors de la réalisation d'un exercice de rééducation. Une telle information en provenance du LAMH orientera la teneur des séances de rééducation proposées par SportS².

Le LAMH possède également un vélo avec des capteurs de force intégrés aux pédales, entre autres dans le but de mesurer si les poussées exercées sur chacune d'elles par le cycliste sont identiques. Dans un autre registre, le laboratoire, en collaboration avec le service de gériatrie du CHU de Liège, a la possibilité d'utiliser un tapis de marche, le GAITRite®, pour évaluer la marche des patients. Cet équipement fournit en effet de nombreux paramètres spatio-

temporels de la marche - longueur des foulées, vitesse, temps de contact du pied avec le sol, etc.

UN VASTE SPECTRE

Tout geste est la résultante de l'activation des muscles suivant une séquence particulière. Mais celle-ci n'est pas unique: plusieurs séquences peuvent donner lieu au même mouvement. «Or, la manière dont les muscles sont recrutés influe sur la performance, dit Cédric Schwartz. Dans certains cas, elle peut aussi favoriser la survenue de lésions.» C'est pourquoi le LAMH recourt à l'électromyographie (EMG) de surface pour appréhender l'activité musculaire lors du geste, recueillir des informations sur le pattern de recrutement des muscles dans le temps. «Il s'agit de déterminer à quel moment et avec quelle intensité certains muscles interviennent dans la séquence productrice d'un geste et si cela est approprié, précise Jean-Louis Croisier. On peut également analyser l'impact, sur le geste, de l'apparition de la fatigue, notamment dans les sports d'endurance.»

Actuellement, Julien Paulus, doctorant au sein du département des sciences de la motricité de l'ULg et chercheur au LAMH, étudie la question de la fatigabilité musculaire des membres inférieurs. Plus spécialement, il combine plateforme de force et électromyographie de surface pour apprécier la fatigue musculaire à travers des épreuves de saut. L'EMG lui permet de mieux comprendre, au niveau tant des muscles agonistes que des muscles antagonistes, les modifications induites par la fatigue dans le recrutement musculaire.

Généralement, les données collectées en électromyographie de surface sont enregistrées à l'aide d'électrodes collées sur la peau et font l'objet d'une transmission sans fil, de sorte que la gestuelle du sportif n'est en rien entravée. La principale limite de la technique est qu'elle ne donne pas accès aux muscles profonds. «Néanmoins, les principaux muscles des jambes et de l'épaule peuvent être étudiés», relativise Cédric Schwartz.

Dans son analyse du mouvement sportif, qui repose sur la synergie entre les informations livrées par les diffé-

rentes techniques disponibles et traitées par des logiciels spécialisés, le LAMH ne vise pas exclusivement l'optimisation de la performance. Non, il est tout aussi attentif à la prévention des lésions et, en collaboration avec SportS², à la prévention de récurrences de blessures. Ainsi, plusieurs études ont montré qu'un déficit de force constitue un important facteur de rechute en cas de reprise de l'activité sportive après une blessure. «Via l'isocinétisme et les outils du LAMH, nous cherchons à dégager des données objectives dans un but de prévention primaire (détecter des anomalies qui pourraient être la cause d'une première blessure) et de prévention secondaire (éviter que le sportif ne se blesse à nouveau)», insiste le professeur Croisier.

Le sport est au cœur de l'activité du LAMH. Toutefois, il n'en est pas l'unique moteur. Ainsi, une collaboration s'est nouée, dans le cadre de la maladie de Parkinson, entre le laboratoire et le service de neurologie (professeur Gaëtan Garraux) du CHU de Liège (voir encadré). De même, l'analyse du mouvement au moyen des techniques optoélectroniques pourrait avoir un rôle à jouer en orthopédie par le biais d'une contribution à la conception et à la modélisation de prothèses. Mais ce n'est pas tout. Par exemple, l'unité de recherche des os et du cartilage, la Faculté de médecine vétérinaire et le LAMH ont étudié les effets de certains aliments sur la marche de chiens aux membres arthrosés... ■

+

Pour en savoir plus

- (1) C. Schwartz et al., *Prévention des lésions musculo-squelettiques chez le sportif*, 41^e Entretiens de Médecine Physique et de Réadaptation 2013, Montpellier
- (2) *L'isocinétisme permet l'évaluation des performances musculaires (force) maximales et la rééducation des groupes musculaires éventuellement déficitaires par un entraînement sur un dynamomètre qui adapte instantanément sa résistance à la force développée par le sujet.*
- (3) Op. cit. (1).

Sur les pas des patients parkinsoniens

Le LAMH n'a pas pour unique vocation de mettre ses technologies de pointe au service de la performance et de la prévention lésionnelle chez les athlètes. Non, il a fait sien le principe de la transversalité, de sorte que différents services de l'Université ou du CHU de Liège le sollicitent dans le cadre de programmes de recherche impliquant une analyse du mouvement chez l'être humain. Une des études phares actuellement en cours concerne une maladie du cerveau dominée par des troubles du mouvement: le parkinson. Plus spécifiquement, cette collaboration scientifique entre le LAMH et l'unité MoVeRe du service de neurologie du CHU de Liège vise à faire émerger une innovation technologique permettant une mesure ambulatoire des troubles de la marche à l'aide de capteurs de mouvement embarqués. L'objectif est d'apporter à l'utilisateur final un éventail de paramètres de marche d'un niveau de précision technique proche de celui fourni par les systèmes hi-tech disponibles dans un laboratoire. Ceci dépasse largement les capacités techniques des systèmes ambulatoires existants comme les podomètres. Ce niveau élevé de précision permettra d'atteindre les 2 principaux objectifs de l'étude en cours: aide au diagnostic précoce de l'affection et quantification de l'efficacité de nouveaux traitements.

La cheville ouvrière de cette collaboration entre ingénieurs et professionnels de la santé est Mohamed Boutayamou, du laboratoire INTELSIG du département d'électricité, électronique et informatique de l'ULg, dont les travaux de validation du nouveau système ont été récompensés par le Biosignals 2016 Best Paper.

► EXAMEN DE DÉPISTAGE

Ainsi que le souligne Gaëtan Garraux, chef de clinique dans le service de neurologie du CHU de Liège et professeur de physiologie du système nerveux à la Faculté de médecine de l'ULg, des troubles de la marche peuvent apparaître de façon très précoce dans la maladie de Parkinson, avant même qu'elle soit diagnostiquée. La question est de savoir si une analyse instrumentale de la marche permettrait de détecter très tôt des anomalies caractéristiques qui pourraient être utiles au diagnostic précoce, qui sait, avant même que le patient ou son entourage ne les remarque.

«Il est acquis maintenant que lorsque le diagnostic de la maladie est évoqué pour la première fois à la suite de l'apparition d'un tremblement ou d'une lenteur excessive des gestes, des anomalies se sont développées de façon insidieuse dans le cerveau depuis plusieurs années, explique Gaëtan Garraux. Durant cette phase prédiagnostique, ces anomalies ne sont pas suffisantes pour déclencher des troubles du mouvement perceptibles par le patient ou son entourage; chez un grand nombre, elles s'expriment de façon variable par des phénomènes beaucoup moins spécifiques comme des troubles du sommeil, une constipation, une diminution de l'odorat ou encore des troubles de l'humeur. Démontrer, chez les personnes qui présentent ces symptômes peu spécifiques, la pré-

sence d'anomalies subtiles de la marche avec notre système ambulatoire pourrait apporter un indice de probabilité diagnostique permettant une prise en charge beaucoup plus précoce de la maladie.»

Cette approche deviendrait ainsi très différente de celle utilisée jusqu'à présent. En effet, comme susmentionné, le diagnostic de maladie de Parkinson est posé beaucoup plus tardivement, lorsque les anomalies cérébrales deviennent suffisantes pour déclencher l'apparition de symptômes moteurs plus spécifiques comme un tremblement ou une lenteur excessive des gestes. Les techniques d'imagerie diagnostique utilisées à ce moment permettent de détecter une partie des anomalies cérébrales - une atteinte débutante du système dopaminergique - mais cette atteinte peut être présente dans différentes maladies apparentées.

De surcroît, l'examen requis en neuroimagerie est très onéreux. Qui plus est, au regard du vieillissement de la population, le nombre de patients parkinsoniens est appelé à croître de façon quasi exponentielle. L'espoir est qu'une analyse biomécanique permette de dégager une signature typique de la marche chez les patients aux premiers stades de l'affection. *«À partir des mesures effectuées, on peut déduire différents paramètres comme la vitesse de marche, le temps de double appui (les 2 pieds sont au sol), la durée de la phase aérienne pour chaque pied, la symétrie gauche-droite, la régularité du pas, etc.»*, indique Cédric Schwartz, ingénieur et responsable du LAMH. *«Notre approche est assimilable à un examen de dépistage»*, ajoute en outre le professeur Garraux. Une prise en charge plus précoce de la maladie pourrait alors être mise en œuvre.

► UN PATTERN CARACTÉRISTIQUE

Mais encore faut-il valider le procédé d'analyse de la marche et, tout d'abord, les mesures enregistrées au moyen du système mis au point par Mohamed Boutayamou, où des capteurs de mouvement (accéléromètres) sont placés au niveau des pieds. C'est ici que le LAMH intervient. Car, pour être validées, les données collectées par les accéléromètres avant d'être traitées par des logiciels spécialisés doivent coïncider avec celles recueillies au même moment, chez chaque sujet testé, par des techniques de laboratoire à la précision éprouvée: les dispositifs optoélectroniques d'analyse 3D et les plateformes de force. *«Cette validation est d'ores et déjà effective chez les sujets sains, contrôles, et est en cours chez les patients parkinsoniens»*, rapporte Cédric Schwartz.

Non seulement il convient de s'assurer que le positionnement des capteurs est le bon, mais surtout que les algorithmes de traitement de données sont pertinents. Cruciale, l'étape suivante aura pour but de mettre en évidence un pattern de marche particulier caractéristique des tout premiers stades du parkinson. Dans ces recherches, un des principaux écueils à surmonter est celui de la constitution d'un échantillon de patients. *«Toutefois, on sait que durant la phase prédiagnostique, 90% des individus chez qui l'atonie musculaire attendue durant les phases de sommeil paradoxal fait place à des troubles du comportement - cris, mouvements brusques... - développeront ultérieurement la maladie de Parkinson. C'est à ces personnes, qui consultent généralement parce qu'elles perturbent le sommeil de leur conjoint, que nous proposons de participer à notre étude»*, précise Gaëtan Garraux.

Un second volet de l'étude menée à l'ULg a pour finalité d'évaluer l'efficacité, sur la marche, des traitements administrés à des patients dont le parkinson a atteint un stade plus avancé.