

Écouter les vibrations des muscles pour évaluer leur activité : un tout nouveau champ d'application rendu possible par le capteur mécanomyographique de MOTEN TECHNOLOGIES

Maxime Progetti^{1*}

¹MOTEN TECHNOLOGIES, 86 rue de Paris, 91400 Orsay

*mprogetti@moten-tech.com

Résumé—La capacité d'évaluer de manière non invasive l'activité musculaire révèle un champ d'application très vaste dans des domaines liés à la santé, au sport ou encore à la robotique. La caractérisation de l'état d'un muscle, et l'évolution de cet état en fonction des mouvements de l'ensemble du corps peut donner de précieuses informations sur la condition musculaire pour, par exemple, optimiser l'entraînement d'un sportif ou adapter la charge physique de travail d'un opérateur. Cette note introduit un tout nouveau capteur ultra-portable développé par MOTEN TECHNOLOGIES, qui permet de mesurer objectivement l'activité musculaire d'une personne.

I. CAPTURER L'ACTIVITÉ MUSCULAIRE

La capture de l'activité musculaire s'obtient généralement par électromyographie (EMG) [1] : c'est-à-dire par la mesure de l'activité électrique du muscle. Les techniques EMG peuvent être invasives avec l'insertion d'électrodes directement dans le corps du muscle, ou superficielles par l'usage d'électrodes de surface collées à même la peau. Cette dernière technique, utilisée fréquemment pour évaluer l'activité musculaire, présente de nombreux désavantages et son utilisation se limite souvent à des environnements contrôlés comme les laboratoires. Elle requiert l'utilisation d'électrodes à usage unique pour des raisons d'hygiène, ainsi qu'un gel conducteur pour assurer un bon couplage avec la peau (la présence de sueur peut détériorer la qualité de la mesure). De plus, un savoir-faire technique est nécessaire pour le positionnement des électrodes. Ceci impose donc des limitations sévères sur le caractère pratique d'une telle mesure hors laboratoire.

La technique proposée par MOTEN (dite de **mécanomyographie** ou **MMG**) permet d'écouter en profondeur les contractions des muscles grâce au port de petits accéléromètres à haute résolution (figure 1).

Cette mesure présente de nombreux avantages face aux techniques traditionnelles EMG:

- Meilleure résolution
- Détecte l'activité musculaire en profondeur
- Sensibilité au positionnement réduite



Fig. 1. Capteur sans fil MMG MOTEN pouvant mesurer pendant 20 heures l'activité musculaire.

La notion "d'écouter les sons" produits par les muscles remonte au début des années 1800 [2]. Les scientifiques de l'époque s'accordaient déjà sur le caractère basse fréquence de ces sons, en partie non audible par l'oreille humaine mais détectable à la surface de la peau. Les avancées technologiques en matière d'électronique et de puissance de calcul au début des années 1980 ont grandement contribué à l'acquisition et à l'analyse de certaines caractéristiques vibratoires des muscles. Une illustration de la bande de fréquence d'intérêt dans l'analyse des signaux mécanomyographique est proposée en figure 2.

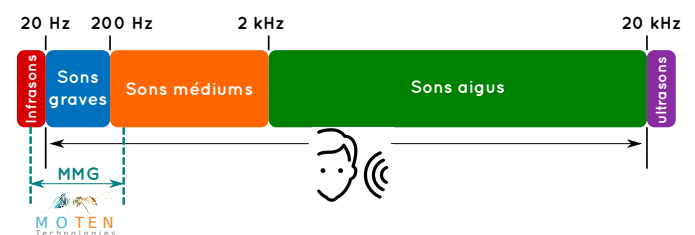


Fig. 2. La caractéristique des "sons" produits par les muscles rapportée à la bande passante des fréquences perceptibles par l'oreille humaine.

En résumé, le capteur MMG MOTEN permet la capture et l'interprétation de l'activité mécanique vibratoire issue de la contraction musculaire.

II. EXEMPLE : MESURE DE L'ACTIVITÉ MUSCULAIRE D'UN BICEPS EN CONTRACTION

Une expérience simple mettant en jeu la contraction d'un biceps est présentée sur la figure 3 pour illustrer la méthode brevetée par MOTEN TECHNOLOGIES dans l'analyse objective de l'activité musculaire. Le capteur MMG est placé au contact de la peau sur le ventre du muscle à analyser. Ensuite, environ 20 contractions sont produites avec et sans haltère simulant ainsi des situations difficiles et faciles respectivement. Un temps de récupération sépare les deux séries de contractions.

On distingue alors dans les carrés violets les signatures caractéristiques du biceps en contraction à gauche, et au repos à droite. La mesure MMG exprime une **accélération**, c'est-à-dire une grandeur physique permettant de caractériser les déplacements d'un objet, ou plus précisément ses changements de vitesse. Dans notre cas, un muscle qui se contracte, à l'image d'une corde de guitare, va vibrer (donc bouger) latéralement par rapport au sens de sa longueur. Ces vibrations vont alors se propager jusqu'à la peau, là où notre capteur est attaché.

Pour analyser plus finement ces vibrations, MOTEN a mis au point un **algorithme dédié** permettant de "**cartographier**" et de **mettre en relief** les caractéristiques vibratoires des muscles. Cette carte permet d'observer la répartition du signal MMG sur la bande de fréquence d'intérêt au cours du temps. D'une part, chaque ligne verticale représente une acquisition du capteur MMG avec sa signature fréquentielle, qui va nous permettre de traduire la nature des sons produits : grave ou aiguë, forte ou faible. D'autre part, les couleurs de la carte permettent de caractériser l'intensité du son, exprimée en décibels. Ainsi, une couleur tirant vers le jaune indiquera une intensité forte tandis qu'une couleur bleue indiquera une activité faible).

Pour en revenir à notre exemple, nous pouvons distinguer les deux séries de contractions par deux phases d'intensité très forte, séparées par une zone bleue caractéristique de la phase de repos. On remarque aussi, entre 10 et 60 secondes, des reliefs importants au niveau des sons graves. Ces reliefs sont beaucoup moins contrastés entre 100 et 140 secondes permettant alors de séparer la phase difficile de celle facile. En

outre, les contractions plus dures révèlent des intensités importantes dans les aigus et donnent des longues et fines trainées verticales (des reliefs abrupts en d'autres termes).

Par ailleurs, on peut remarquer une ligne rouge parcourant la carte qui peut être interprétée comme "l'itinéraire" de l'activité du muscle. Cette ligne est en réalité la fréquence moyenne de l'intensité qui permet d'identifier des modifications dans la stratégie d'activation du muscle. Lors des phases de contractions, on note bien une vingtaine de "sauts" qui caractérisent les cycles de flexion/extension du biceps.

L'algorithme de MOTEN TECHNOLOGIES permet une cartographie du muscle et met en relief son activité au cours du temps.

III. VERS UNE COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES DE LA FATIGUE MUSCULAIRE

La fatigue musculaire est définie par l'incapacité à fournir un effort demandé. Elle va alors jouer sur l'amplitude et le contenu fréquentiel du signal MMG. Sur notre carte, la fatigue musculaire va progressivement altérer les reliefs de l'activité, ce qui va faire dériver la ligne rouge (fréquence moyenne de l'intensité). Le sens de la dérive va alors révéler certains aspects physiologiques comme la rigidité du muscle où les caractéristiques des fibres mises en jeu.

MOTEN TECHNOLOGIES réalise aujourd'hui des tests en partenariat avec des professionnels de la fatigue physiologique tels que **Véronique Billat**, physiologiste de renommée mondiale qui a consacré sa carrière scientifique à l'amélioration des performances sportives. Nous validons la mesure MMG en corrélation avec d'autres mesures classiques (fréquence cardiaque, VO₂max) pour identifier et caractériser l'apparition de la fatigue chez un sportif.

MOTEN TECHNOLOGIES constitue un groupe d'experts scientifiques et techniques de la mesure MMG pour mieux cerner les mécanismes de la fatigue musculaire.

RÉFÉRENCES

- [1] T. J. Roberts and A. M. Gabaldon, "Interpreting muscle function from EMG: lessons learned from direct measurements of muscle force," *Integrative and Comparative Biology*, vol. 48, pp. 312–320, jun 2008.
- [2] F. V. Brozovich and G. H. Pollack, "Muscle contraction generates discrete sound bursts.," *Biophysical Journal*, vol. 41, pp. 35–40, jan 1983.

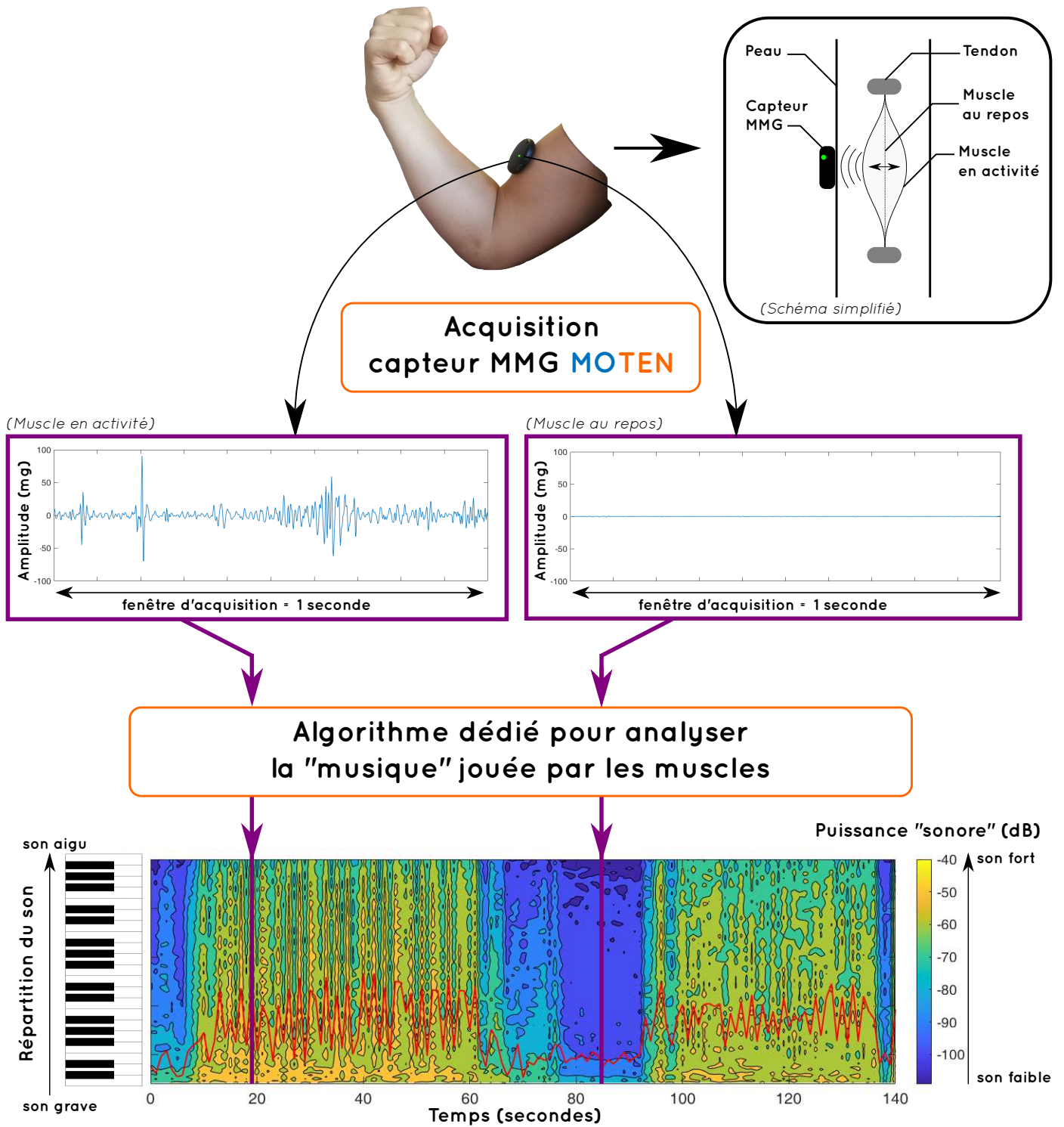


Fig. 3. Méthode brevetée par MOTEN TECHNOLOGIES pour l'analyse de l'activité musculaire.