

Développement d'une solution vibrotactile innovante pour améliorer la communication entre paraspportifs

Contexte socio-économique et scientifique

La pratique d'une activité physique régulière est recommandée afin de lutter contre la sédentarité et ses conséquences physiopathologiques, mais aussi pour renforcer la cohésion sociale. Il est ainsi crucial de faciliter l'accès à l'activité physique et sportive de tous. En France, 11,2 % de la population possèdent une déficience auditive et 0,3 % une surdité totale [DREES 2014]. Un frein majeur à l'accès à l'activité physique et sportive réside dans la communication avec les autres pratiquants, les arbitres, les entraîneurs ou encore le public éventuel. En effet, **la communication, passant essentiellement par la langue des signes, est fortement empêchée si aucun contact visuel entre les protagonistes n'est établi**. Ainsi, les communications joueur-joueur (attirer l'attention d'un équipier, se conseiller), entraîneur-joueur (annoncer changements tactiques et repositionnements sur le terrain), et arbitre-joueurs (arrêt du jeu, notifications de fautes), voire supporteurs-joueur (encouragements) ont nécessairement lieu dans des conditions dégradées. C'est pourquoi **l'objectif de ce projet est de développer des solutions numériques embarquées, autorisant le renouvellement des paradigmes de communication et facilitant les pratiques sportives partagées**.

Pour répondre à cet objectif, nous faisons l'hypothèse que le sens du toucher, et en particulier **la modalité vibrotactile (vibrations) est un support pertinent de la communication interpersonnelle dans la pratique sportive**. En effet, la vue étant surchargée et l'audition inexistante ou limitée, ces deux modalités sont automatiquement exclues. Ce projet vise, à terme, la création d'un dispositif innovant, léger et miniature, que les sportifs porteront afin d'optimiser leur communication sur le terrain et donc leur expérience sportive. Au-delà de la performance en elle-même, un tel dispositif facilitera les échanges entre les communautés et ainsi le développement de la pratique sportive partagée. En cela, ce projet contribuera à la visibilité des équipes de recherche et des partenaires socio-économiques impliqués, et par extension de la région Île-de-France. Nous nous proposons de positionner ce projet dans le contexte du football, sport bénéficiant d'une forte popularité, mais aussi d'une structuration plus avancée dans la communauté sourde (la [CFFS](#) rassemble 27 clubs en France dont 4 en Île-de-France).

Méthodologie scientifique et faisabilité

L'objectif du doctorat est de créer un dispositif numérique réalisant une interface humain/machine/humain permettant la communication interpersonnelle dans le cas de la pratique sportive collective sourde. Les fonctionnalités *a minima* de cette interface seront la sélection de l'information à communiquer, et du ou des destinataires (un joueur en particulier, tout ou partie de l'équipe). **A partir d'un dictionnaire de « signes vibratoires », des stimuli vibratoires seront alors transmis de la personne émettrice au destinataire récepteur de l'information**. En raison de la forte variabilité inter-individuelle attendue sur les aspects culturel et sensoriel (sourds, mal-entendants, appareillés), il sera crucial d'**inclure les participants dans une démarche de co-construction**. La réussite de ce projet dépend de plusieurs sous-objectifs :

SO0- Autorisations éthiques. La recherche impliquera à toutes ses étapes la personne humaine dans une approche non interventionnelle (catégorie RIPH3), une des premières étapes sera d'obtenir l'avis d'un Comité d'Éthique de la Recherche ou d'un Comité de Protection des Personnes couvrant le projet.

SO1- Identification d'un dictionnaire d'éléments de communication à traduire en signes vibratoires. Ce dictionnaire sera co-construit avec le public sourd concerné afin d'assurer la pertinence des propositions.

SO2- Approfondir les connaissances fondamentales actuelles dans le domaine de la propagation des vibrations dans le corps humain et de leur perception. Afin de communiquer des informations par le biais de vibrations transmises au corps humain, les caractéristiques des stimuli vibratoires (localisation sur le corps, durée, variations temporelles, intensité, contenu fréquentiel) assurant une perception optimale doivent être définis [Verrillo 1992, Gescheider 2009, Gandhi 2011, Merchel & Altinsoy 2020, Consigny 2022, Paté 2024a]. Cet objectif nécessitera de répondre à des enjeux scientifiques d'actualité. En effet, il n'existe que peu d'études de la perception des vibrations lors d'une surcharge cognitive (ici une double tâche liée à la pratique sportive) [Betozzi 2024, Marrone 2025] mais également **sensorielle** (stimulations supplémentaires du fait de la course, de contacts entre joueurs), nécessitant de lever ce verrou scientifique. **Cette étape fera l'objet d'expérimentations en laboratoire, à partir de sources vibratoires contrôlées, permettant d'identifier l'étendue des stimuli admissibles pour créer ces signes vibratoires.**

SO3- Création d'un vocabulaire de signes vibratoires traduisant les éléments de langage à communiquer. Cette étape vise à associer à chaque élément de communication identifié un équivalent

vibratoire. Grâce au SO2, ces signes vibratoires seront facilement identifiables et discriminables entre eux, évitant toute confusion. Le lien entre les propriétés vibratoires et la signification du signe sera inspiré par l'état de l'art via des approches sémantique [Genevois 2019, Dubois 2021] et sémiotique [Patiño-Lakatos 2019], intégrant les particularités de la communauté sourde et de la langue des signes française [Gaucher & Vuibert 2010, Gaucher 2012, Schmitt 2013]. Il est également envisagé d'explorer les pistes de la création de nouveaux signes par composition de signes simples (approche par « tactons hiérarchiques » [Brewster & Brown 2004]) ou la réalisation de séquences pré-programmées de signes pour l'entraînement).

SO4- Choix et validation des technologies embarquées. Il sera essentiel d'identifier les émetteurs (ici des vibreurs) capable de reproduire fidèlement les stimuli vibratoires issus du SO3. Cela nécessite de qualifier finement le comportement mécanique des vibreurs via leur fonction de transfert [Consigny 2023]. Enfin, le couplage vibratoire entre le vibreur et la surface de peau stimulée sera également quantifié afin d'assurer la meilleure transmission possible de l'information [Chadefaux 2016, 2023, Caron 2023, Paté 2024b].

SO5- Développement de dispositifs ergonomiques permettant l'émission et la réception des signaux vibratoires. Ce développement bénéficiera des avancées récentes des technologies numériques et haptiques [Marshall & Wanderley 2006, Mortimer 2007, Choi & Kuchenbecker 2012] notamment à destination des sourds [Paté 2022, Flores 2023]. Les verrous technologiques et numériques auxquels nous devons répondre sont inhérents à une utilisation sportive, hautement dynamique, embarquant des dispositifs miniaturisés (nano-ordinateurs ou micro-contrôleurs, amplificateurs portables, vibreurs miniatures) et une communication en temps réel.

SO6- Évaluation et validation *in situ* du dispositif proposé par les utilisateurs. La validation du bon fonctionnement du système, et de la qualité de la transmission des signes vibratoires, sera évaluée hors situation de pratique sportive puis sur le terrain. Un intérêt particulier sera porté à l'apprentissage et à la familiarisation des utilisateurs avec le dictionnaire de signes vibratoires. Cette validation pourra notamment se faire via la comparaison des comportements entre une population néo-utilisatrice et une population ayant bénéficié d'une période d'apprentissage. Cet aspect du travail s'appuiera sur une approche multidisciplinaire maîtrisée par l'équipe [Dubois 2021, Cambourian 2022].

La transversalité des objectifs nécessitera une approche scientifique originale croisant de nombreuses disciplines (traitement du signal, psychophysique, cognition située, physique des vibrations et métrologie, biomécanique). Le doctorant bénéficiera de l'expertise et de la complémentarité de l'équipe encadrante, ainsi que des infrastructures des laboratoires et des partenaires. Le calendrier prévisionnel assure également la faisabilité du projet. Les SO0 et SO1 ainsi que l'étude bibliographique sont planifiés sur la première année. Le premier semestre de la seconde année sera dédiée à la définition et la passation des protocoles expérimentaux (SO2). Le SO3 sera développé parallèlement. Les SO4 et 5 seront effectués conjointement lors du second semestre de la deuxième année. Enfin, le premier semestre de la troisième année sera dédié au SO6. Le dernier semestre sera consacré à la finalisation et la rédaction du manuscrit. La valorisation scientifique (rédaction d'articles, participation à des congrès), sera effectuée au fil de la thèse.

Consortium

Équipe encadrante :

- **Patricia Thoreux** est professeur (PUPH, USPN-APHP, HDR), experte en orthopédie. Ses activités de recherche couvrent les aspects cliniques liés à la performance sportive et parasportive.
- **Delphine Chadefaux** est maître de conférences à l'USPN, directrice des études du Master STAPS et directrice de l'IFRF PROSPECTIVE. Ses activités s'articulent autour du contrôle des chocs et vibrations par le corps humain lors d'une tâche motrice. Elle est notamment porteuse d'une ANR JCJC « Technologies pour la santé » s'intéressant à l'exposition aux vibrations des utilisateurs de fauteuils roulants.
- **Arthur Paté** est enseignant-chercheur à Junia / IEMN. Il oriente sa recherche sur les interactions humain/objet véhiculées par les perceptions auditive et vibratoire. En particulier, il mène le projet de recherche-action TOTEM créant des dispositifs portables transformant le son en vibrations pour faciliter l'inclusion des sourds au concert. Il a co-porté le projet ANR Staccato démontrant la possibilité d'une pratique musicale collective exclusivement vibrotactile mêlant signaux expressifs et consignes.

Partenaires socio-économiques :

- Le **HandiLab**, à Saint-Denis, est un lieu dédié à l'innovation au service du handicap et à l'autonomie. Cet espace, avec lequel l'USPN a signé une convention en 2023, a pour but le développement technique et technologique de matériels et outils innovants. Le HandiLab facilitera les échanges entre le doctorant et les évaluateurs des dispositifs développés mais aussi l'accès aux technologies innovantes existantes. Cet environnement sera enfin propice aux collaborations et à l'intégration professionnelle du doctorant.
- Le **Pôle de Référence Inclusif et Sportif Métropolitain (PRISME)** à Bobigny est une installation sportive. Première du genre en Europe et héritage des Jeux Paralympiques 2024, tous les usagers y ont accès à

l'activité physique, au sport et au parasport quel que soit leur type et niveau de handicap. L'IFRF PROSPECTIVE a été créé par l'USPN afin de développer des activités de recherche et de formation autour de l'inclusion et de l'accessibilité du sport pour tous au sein du PRISME. La co-construction et la validation du dispositif se fera donc en lien direct avec les usagers et sur les terrains du PRISME.

Collaborations envisagées :

Deux figures nationales du football sourd, P. Guyon (ancien président de l'Étoile Sportive des Sourds de Vitry, entraîneur au CSS de Reims, club trois fois champion de France) et A. Manceaux (joueur au CSS et en équipe de France, participant aux Deaflympics 2017 et 2022), journalistes pour Média-pi, ont montré leur intérêt pour ce projet. Cette collaboration initiera une dynamique auprès des clubs franciliens et de la communauté sourde, et permettra par surcroît de rayonner sur le territoire national.

Contacts

Delphine Chadeaux : delphine.chadeaux@univ-paris13.fr ; Université Sorbonne Paris Nord, Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak, Arts et Métiers Institute of Technology ;

Arthur Paté : arthur.pate@junia.fr ; Junia/ISEN, IEMN UMR CNRS 8520

Références

- [Betozzi 2024] Betozzi, F., Brunetti, C., Marrone, F., Moorhead, A. P., Marchetti, E., Sforza, C., Galli, M., Tarabini, M., « Effects of mediolateral whole-body vibration during gait with additional cognitive load », Journal of Biomechanics 175 (2024).
- [Brewster & Brown 2004] Brewster, S., Brown, L. M., « Tactons: Structured Tactile Messages for Non-Visual Information Display », Proceedings of the Australasian User Interface Conference (2004)
- [Cambourian 2022] Cambourian, P., Paté, A., Paté, C., Cance, C., Navarret, B., Vasseur, J., « Vocabulary to speak about touch: analysis of the discourse of electric guitar players », Acta Acustica 6(2) (2022)
- [Caron 2023] Caron, R., Forier-David, N., Paté, A., Chadeaux, D. « Transmission of vibration from the instrument to the fingers during guitar playing », Journées des Jeunes Chercheurs en Acoustique Audio et Signal (2023)
- [Changeon 2012] Changeon, G., Graeff, D., Anastassova, M., Lozada, J., « Tactile Emotions: A Vibrotactile Tactile Gamepad for Transmitting Emotional Messages to Children with Autism », Proceedings of Eurohaptics (2012)
- [Chadeaux 2016] Chadeaux, D., Rao, G., Androuet, P., Berton, É., Vigouroux, L., « Active tuning of stroke-induced vibrations by tennis players », Journal of Sport Sciences (2016)
- [Chadeaux 2023] Chadeaux, D., Daney, T., Paté, A., Le Carrou, J.-L., « How to link the player's feel to a physical measure? », Proceedings of the European College of Sport Science (2023)
- [Choi & Kuchenbecker 2012] Choi, S., Kuchenbecker, K. J., « Vibrotactile Display: Perception, Technology, and Applications », Proceedings of the IEEE 101(9):2093-2104 (2012)
- [Consigny 2022] Consigny, Q., Paté, A., Le Carrou, J.-L., « Perceptual evaluation of the quantization level of a vibrotactile signal », Lecture Notes in Computer Science 13417:69-78, Springer Nature (2022)
- [Consigny 2023] Consigny, Q., Ouvrai, N., Paté, A., Fritz, C., Le Carrou, J.-L., « Vibrotactile thresholds on the wrist for vibrations normal to the skin », IEEE Transactions on Haptics 16:4(628-633) (2023)
- [DREES 2014] « Étude quantitative sur le handicap auditif à partir de l'enquête "Handicap-Santé" », Série « Études et Recherches » n°131, Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques, 156 pages (2014)
- [Dubois 2021] Dubois, D., Cance, C., Coler, M., Paté, A., Guastavino, C., « Sensory Experiences – Exploring Meaning and the Senses », Éditions Benjamins Publishing, 624 pages (2021)
- [Flores 2023] Flores Ramones, A., del-Rio-Guerra, M.S., « Recent Developments in Haptic Devices Designed for Hearing-Impaired People: A Literature Review », Sensors 23(2968) (2023)
- [Gandhi 2011] Gandhi, M. S., Sesek, R., Tuckett, R., Morris Bamberg, S. J., « Progress in vibrotactile threshold evaluation techniques: a review », Journal of Hand Therapy 24(3):240-255 (2011)
- [Gaucher & Vuibert 2010] Gaucher, C., Vuibert, S. « Les Sourds : aux origines d'une identité plurielle », Éditions Diversitas, 232 pages (2010)
- [Gaucher 2012] Gaucher, C., « Les Sourds ne gesticulent pas, ils signent – Réflexions sur le rapport entre corps sourds et langues des signes », Anthropologie et société 36(3):153-170 (2012)
- [Genevois 2019] Genevois, H., Navarret, B., Patiño-Lakatos, G., « De la Sensation à la Sémiotique vibrotactile. Médiations pour l'expérience musicale », Revue des Arts et Médiations Humaines 6 (2019)
- [Gescheider 2009] Gescheider, G. A., Wright, J. H., Verrillo, R. T., « Information-Processing Channels in the Tactile Sensory System », Psychology Press, 146 pages (2009)
- [Handisport 2021] « Les Sports Sourds et malentendants », Rapport de la Fédération Française Handisport, 42 pages (2021)

- [INJEP 2023] « Les Chiffres Clé du Sport 2023 », Rapport de l'Institut National de la Jeunesse et de l'Éducation Populaire, 66 pages (2023)
- [López 2023] López, A. G., Cerdan, V., Revuelta, P., Sanchez Pena, J. M., Ortiz, T., Vergaz, R., « Vibrotactile Stimulation for Emotional Elicitation during Audiovisual Events », IEEE Access 11:111302-111314 (2023)
- [Marrone 2025] Marrone, F., Goggins, K. A., Pontiggia, L., Tirabasso, A., Marchetti, E., Bovenzi, M., Galli, M., Tarabini, M., « Effect of mediolateral vibration magnitude and frequency on the cognitive response and spatiotemporal gait parameters », International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 107, 2025,.
- [Marshall & Wanderley 2006] Marshall, M. T., Wanderley, M. M., « Vibrotactile Feedback in Digital Musical Instruments », Proceedings of the International Conference on New Interfaces Musical Expression (2006)
- [Merchel & Altinsoy 2020] Merchel, S., Altinsoy M. E., « Psychophysical comparison of the auditory and tactile perception: a survey», Journal on Multimodal User Interfaces 14:271-283 (2020)
- [Mortimer 2007] Mortimer, B. J. P., Zets, G. A., Cholewiak, R. W., « Vibrotactile transduction and transducers », Journal of the Acoustical Society of America 121(5):2970-2977 (2007)
- [Paté 2022] Paté, A., d'Alessandro, N., Gréciet, A., Bruggeman, C., « TOuch ThE Music: Displaying Live Music into Vibration », Lecture Notes in Computer Science 13417:3-13, Springer Nature (2022)
- [Paté 2024a] Paté, A., Ouvrai, N., Consigny, Q., Fritz, C. « Two rapid alternatives compared to the staircase method for the estimation of the vibrotactile perception threshold », IEEE Transactions on Haptics 17:4(935-945) (2024)
- [Paté 2024b] Paté, A., Petel, M., Belhassen, N., Chadeaux, D., « Radiated Sound and Transmitted Vibration Following the Ball/Racket Impact of a Tennis Serve », Vibration 7:894-911 (2024)
- [Patiño-Lakatos 2019] Patiño-Lakatos, G., Navarret, B., Genevois, H., « Paradigmes et expériences pour une sémiotisation des sensations vibrotactiles », ALTER, European Journal of Disability Research 13:155–167 (2019)
- [Patiño-Lakatos 2020] Patiño-Lakatos, G., Navarret, B., Lindenmeyer, C., Genevois, H., Barbosa-Magalhaes, I., Corcos, M., Letranchant, A., « Music, Vibrotactile Mediation and bodily Sensations in Anorexia Nervosa: “It's like I can really feel my Heart beating” », Human Technology Volume 16(3):372-405 (2020)
- [Pérusseau-Lambert 2018] Pérusseau-Lambert, A., Anastassova, M., Boukallel, M., Chetouani, M., Grynszpan, O., « Interfaces haptiques et tactiles pour l'autisme : une revue systématique », Enfance 1:65-90 (2018)
- [Réhman 2008] Réhman, S., Liu, L., « Vibrotactile Rendering of Human Emotions on the Manifold of Facial Expressions », Journal of Multimedia 3(3):18-25 (2008)
- [Schmitt 2013] Schmitt, P., « Sciences sociales, sourds et langue des signes : d'un champ d'expérience-s à un champ d'étude », La Nouvelle Revue de l'Adaptation et de la Scolarisation 64 (2013)
- [Verrillo 1992] Verrillo, R. T., « Vibration Sensation in Humans», Music Perception 9:3(281-302) (1992)
- [Villa 2023] Steeven Villa, S., Nguyen, T. D., Tag, B., Machulla, T.-K., Schmidt, A., Niess, J., « Towards a Haptic Taxonomy of Emotions: Exploring Vibrotactile Stimulation in the Dorsal Region », Proceedings of the International Symposium on Wearable Computers (2023)