

Proposition de thèse :

Les vibrations de la main : modélisation de l'influence des forces de poussée/préhension et réponse aux ultravibrations

Collaboration de recherche : **INRS** (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles) et **UBFC FEMTO-ST** (Université Bourgogne Franche-Comté).

Résumé du sujet :

Une exposition prolongée du système main-bras à des niveaux vibratoires élevés peut conduire à certaines pathologies. Les forces de préhension et de poussée que doit exercer l'opérateur sur la machine pour réaliser sa tâche sont susceptibles de modifier les effets des vibrations sur la santé du salarié. Le sujet de thèse vise d'une part à mieux comprendre et quantifier l'influence des efforts de préhension et de poussée sur la propagation des vibrations dans la main, et d'autre part à mieux connaître l'effet des vibrations hautes fréquences et des chocs.

Profil attendu du chercheur

Formation	Ingénieur ou universitaire. Diplôme de master 2 ou Ingénieur en mécanique numérique, ingénierie mathématique.
Compétences et spécialités	Modélisation numérique, simulation Éléments Finis et programmation. Réalisation d'expérimentations (2/3 modélisation, 1/3 expérimental). Une motivation forte vers la biomécanique, la mécanique en grandes déformations et la dynamique est fortement souhaitée.
Lieu de la thèse	INRS (Vandœuvre-lès-Nancy). Courts séjours à Besançon
Début de la thèse	Avant fin 2021
Langue	Français et Anglais (obligatoire). La thèse sera rédigée obligatoirement en français.

Encadrement

Comité de thèse	Christophe Noël (INRS Santé et Sécurité au travail) et Emmanuelle Jacquet (UBFC - FEMTO-ST Institut de recherche en Sciences et Technologies)
Conditions	Contrat de travail INRS : Contrat à Durée Déterminée de 36 mois Salaire : 2 500 € bruts/mois

Adressez votre candidature en envoyant une lettre de motivation et un CV par e-mail simultanément à :

Christophe Noël (christophe.noel@inrs.fr)

Emmanuelle Jacquet (emmanuelle.jacquet@univ-fcomte.fr)

Sujet détaillé :

Contexte et objectifs :

Actuellement en France près de 11% des travailleurs salariés utilisent quotidiennement des machines portatives vibrantes (meuleuses, marteaux-piqueurs, clefs à chocs) et leurs mains sont ainsi exposées à des vibrations mécaniques. Or, une exposition prolongée à des niveaux vibratoires élevés peut conduire à des pathologies susceptibles d'être reconnues comme maladie professionnelle au titre du tableau 69 du régime général (119 maladies déclarées en 2018 pour un coût de 7,8 M€).

Les forces de préhension et de poussée que doit exercer l'opérateur sur la machine, pour réaliser sa tâche, ont une influence considérable sur la quantité de vibrations transmises à la main, et, donc, potentiellement sur les conséquences pour la santé des opérateurs. Or, ces forces ne sont actuellement pas prises en compte dans l'évaluation du risque vibratoire. De plus, cette évaluation reflète mal les effets sanitaires des vibrations hautes fréquences (> 1000 Hz) et des chocs, qui sont générés par certains types de machines, comme par exemple les clefs à chocs ou les burineurs.

Les objectifs de cette thèse sont, d'une part, de comprendre et quantifier l'influence des efforts de serrage et de poussée sur la propagation des vibrations dans la main, et, d'autre part, de mieux connaître l'effet des vibrations hautes fréquences et des chocs.

Plus précisément, les deux objectifs de cette thèse sont : i) de quantifier et prédire les champs de grandeurs mécaniques dynamiques (contraintes, déformations, accélérations, etc.) dans les tissus de la main en fonction de la force de couplage (pousse/préhension) et identifier les voies privilégiées de transfert vibratoire main/poignée ; ii) de quantifier et prédire la propagation des vibrations harmoniques et transitoires (chocs) de fréquences supérieures à 1000 Hz.

Méthodologie :

Il n'est pas envisageable de mesurer les vibrations se propageant à l'intérieur de la main, dans les os, les articulations, la peau ou les tissus de chair. La démarche consiste donc à construire un modèle éléments finis permettant de calculer les accélérations, déformations et contraintes subies par les tissus vivants à l'intérieur d'une main serrant et poussant la poignée vibrante d'une machine. Pour valider ce modèle, des expérimentations seront réalisées avec des volontaires pour, par exemple, évaluer les cartographies de pression exercée par les doigts sur la poignée de la machine, ou encore caractériser l'augmentation de la dureté des muscles de la main, lorsque ceux-ci sont actifs pour serrer une poignée. Des mesures plus spécifiques comme le permet l'élastographie ultrasonore seront effectuées car cette technique permet de s'affranchir de certaines limitations métrologiques inhérentes aux dispositifs plus classiques de caractérisation des propriétés mécaniques des tissus.

La démarche adoptée, pour réaliser les objectifs précédemment explicités, se décline en cinq volets distincts et complémentaires : i) préparation des modèles éléments finis et de la cinématique de serrage (ce volet sert d'élément de base pour tous les autres volets) ; ii) modélisation du pré-chargement quasi-statique d'une main serrant et poussant une poignée ; iii) modélisation dans le domaine spectral de la réponse dynamique d'une main pour des excitations stationnaires de fréquences < 1000 Hz autour de la pré-charge quasi-statique précédente ; iv) modélisation dans le domaine spectral de la réponse dynamique d'une main pour des excitations stationnaires de fréquences > 1000 Hz sans pré-charge quasi-statique ; v)

modélisation dans le domaine temporel de la réponse dynamique d'une main pour des excitations instationnaires de type chocs.

Résultats escomptés et valorisations envisagées :

Les travaux de recherche permettront de connaître les champs de grandeurs mécaniques (contrainte, déformation, énergie dissipée) à l'intérieur des tissus de la main en fonction du niveau de serrage et de poussée pour des basses, moyennes, hautes fréquences vibratoires et des chocs. Il sera alors possible de connaître l'influence de ces efforts de serrage et de poussée sur la propagation des vibrations à l'intérieur de la main.

Les valorisations se feront sous forme de publications scientifiques dans des revues à comité de lecture et communications dans des congrès internationaux, par un transfert de connaissance à la normalisation, et aussi en contribuant à la conception de poignées de machines transférant moins de vibrations à la main

ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Griffin MJ. Handbook of human vibration. London: Elsevier Academic Press; 1996. 988 p.
- [2] Noël C. Influence des efforts de poussée - préhension et des gants anti-vibratiles sur le transfert des vibrations à la main. *Hygiène sécurité du Trav.* 2017;247:48–54.
- [3] Noël C. A three-dimensional visco-hyperelastic FE model for simulating the mechanical dynamic response of preloaded phalanges. *Med Eng Phys.* 2018;61:41–50.
- [4] Wu JZ, Dong RG, McDowell TW, Welcome DE. Modeling the finger joint moments in a hand at the maximal isometric grip: The effects of friction. *Med Eng Phys.* 2009;31(10):1214–8.
- [5] Xie Y. Plausible 3d human hand modeling for virtual ergonomic assessments of handheld product: construction, contact simulation and variational modeling. Hokkaido University; 2014.
- [6] Chamoret D, Bodo M, Roth S. A first step in finite-element simulation of a grasping task. *Comput Assist Surg.* 2016;21:22–9.
- [7] Harih G, Tada M. Development of a Finite Element Digital Human Hand Model. In: 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies. Lugano, Switzerland; 2016. p. 208–13.
- [8] Harih G, Nohara R, Tada M. Finite Element Digital Human Hand Model – Case Study of Grasping a Cylindrical Handle. 2017;
- [9] Harih G, Tada M. Development of a feasible finite element digital human hand model [Internet]. *DHM and Posturography.* Elsevier Inc.; 2019. 273–286 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-816713-7.00021-0>
- [10] Tony BJAR, Alphin MS. Finite element analysis to assess the biomechanical behavior of a finger model gripping handles with different diameters. *Biomed Hum Kinet.* 2019;11(1):69–79.
- [11] Hokari K, Pramudita JA, Ito M, Okada K, Tanabe Y. Computational method to optimize design of gripping part of products via grasping motion simulation to maximize gripping comfort. *Appl Sci.* 2020;10(9).
- [12] Iwamoto M. Chapter 11: Modelling Passive and Active Muscles. In: *Basic Finite Element Method as Applied to Injury Biomechanics.* Academic Press; 2018. p. 447–68.
- [13] Dao TT, Tho MCHB. A systematic review of continuum modeling of skeletal muscles: Current trends, limitations, and recommendations. *Appl Bionics Biomech.* 2018;ID 7631818.
- [14] Mônica K, Lima ME, Francisco J, Júnior SC, Coelho W, Pereira A, et al. Assessment of the mechanical properties of the muscle-tendon unit by supersonic shear wave imaging elastography: a review. *Ultrasonography.* 2018;37(1):3–15.