

Appel à candidature pour une thèse financée par la Fédération ONERA ENAC ISAE-SUPAERO.

## **Étude des illusions tactiles en utilisant les théories de la Gestalt pour concevoir des feedbacks vibro-tactiles robustes pour le cockpit**

**Équipes d'accueil :** Équipe d'Informatique Interactive de l'ENAC / Équipe Ingénierie Cognitive et Neurosciences Appliquées de l'ONERA Salon de Provence

**Encadrement :** Jean-Christophe Sarrazin et Bruno Berberian (ICNA) ; Dong-Bach Vo et Sylvain Pauchet (ENAC)

**Durée :** 36 mois, Octobre 2024 - Septembre 2027

**Localisation :** ENAC et ONERA Salon de Provence

### **Mots clés**

Feedbacks vibro-tactiles, illusions tactiles, perception tactile, science cognitive, Gestalt, Interaction Humain Machine (IHM), cockpit

### **Résumé**

La perception tactile est cruciale dans l'expérience sensorielle humaine et joue un rôle essentiel dans notre interaction avec l'environnement. Dans le contexte de pilotage, les feedbacks vibrotactiles sont utilisés pour fournir des informations en plus des canaux visuels et auditifs. Cependant, le traitement de ces feedbacks vibrotactiles peut parfois entraîner une distorsion perceptive (illusions tactiles).

Ce projet de thèse a pour objectif de comprendre, en se basant sur les principes de la Gestalt, comment le cerveau humain organise les stimulations tactiles pour former un percept. Cette compréhension servira à concevoir des feedbacks vibrotactiles plus précis et plus résilients aux distorsions perceptives, en particulier pour la gestion de systèmes critiques.

L'application de cette recherche dans le domaine aéronautique contribuera à améliorer la sécurité et l'efficacité de gestion des systèmes critiques en renforçant la conception des interfaces tactiles pour les pilotes.

### **Contexte et objectifs**

Cette thèse se situe à la croisée de la recherche en interaction humain-machine (sur la conception de feedback vibrotactiles pour le cockpit) et en science cognitive (sur l'identification des mécanismes cognitifs qui sous-tendent la perception tactile)

La perception tactile, qui implique le sens du toucher, est une composante essentielle de l'expérience sensorielle humaine. Elle joue un rôle fondamental dans la façon dont nous interagissons avec notre environnement [4]. Pour la gestion du pilotage, et en particulier pour les situations critiques nécessitant une action immédiate [2,6], les feedbacks vibrotactiles peuvent fournir des informations sur le mouvement propre de l'appareil (e.g., position relative de l'appareil vis-à-vis de l'environnement proche, attitudes dans le référentiel terrestre...) en parallèles de celles déjà transmises via les canaux visuels et auditifs. Cependant, le traitement des feedbacks vibrotactiles peut donner lieu à une perception distordue du mouvement propre [7]. Cette perméabilité cognitive de la perception tactile est étudiée par le biais d'illusions tactiles [1,3,5]. Dans ce cadre, la conception de feedback vibrotactiles

pour la gestion de systèmes critiques représente un challenge (absence de caractérisation des illusions, absence de recommandations, manque d'étude en situation écologique de vol).

Afin d'outiller les praticiens de l'Interaction Humain Machine (IHM) pour la conception de feedback vibrotactiles résistants aux illusions, ce projet de thèse vise à explorer les mécanismes qui sous-tendent cette perception tactile. Notamment, nous questionnerons la manière dont l'être humain organise les stimulations tactiles qu'il reçoit afin de former un percept. Nous savons par exemple qu'une séquence rapide de tapotements exercés sur le poignet, puis près du coude génère la perception d'un stimulus remontant de l'avant-bras du poignet vers le coude, bien qu'aucun stimulus ne soit appliqué entre les deux endroits stimulés (i.e., cutaneous rabbit illusion). Cette illusion témoigne de la capacité du système nerveux humain à prédire, anticiper les conséquences sensorielles de stimulations en attribuant une structure spatio-temporelle à une séquence de percepts qui n'en a pas initialement. Ce mécanisme cognitif de structuration de l'information a largement été étudié au cours de la première moitié du XXème siècle dans le cadre de la théorie de la Gestalt.

Comprendre comment la cognition structure les informations sensorielles afin de leur « donner sens » est une question qui a largement été exploré pour d'autres modalités, notamment visuelle et auditive. Il s'agira dans ce travail de thèse de questionner ces mécanismes pour la modalité tactile et d'utiliser cette compréhension afin de concevoir des stimulations vibro-tactiles 1/ plus fidèles à l'information qui souhaite être transmise, 2/ plus robustes au contexte de pilotage. Nous questionnerons notamment l'existence pour la modalité tactile de principes proches de ceux mis en avant par les théories de la Gestalt [1,3,5], tout en explorant comment de tels principes nous permettent de produire des recommandations de conception ainsi que des outils logiciels pour concevoir des feedbacks vibrotactiles pour des IHM de systèmes critiques.

Pour mener cette recherche, nous nous appuyerons sur le contexte aéronautique de pilotage. Dans un premier temps, nous mènerons des expérimentations en laboratoire pour évaluer la façon dont les principes de la Gestalt s'appliquent à la perception tactile et comment ils peuvent influencer la survenue d'illusions. Dans un deuxième temps, nous étudierons la survenue de ce type d'illusions en situation écologique de pilotage (simulateur de vol statique et dynamique) et les principes de conception permettant de les éviter. Les résultats nous permettront de comprendre en quoi la théorie de la Gestalt peut être appliquée à la perception de stimuli vibro-tactiles et comment elle peut être utile pour balancer les phénomènes de distorsion perceptive néfastes en situation de pilotage d'aéronefs. Une meilleure compréhension de la perception sensorielle humaine est une étape essentielle dans la démarche de conception des interfaces tactiles.

## **Travail demandé**

### **1ère année :**

- revue de la littérature scientifique sur : les mécanismes sous-tendant la perception tactile ; les théories de la gestalt (vision audition, tactile) ; les principes de conception de feedback vibrotactiles ; les Illusions tactiles ; les feedbacks vibrotactiles pour gestion systèmes critiques
- Entretiens/observations pilotes pour identification scénarios d'utilisation de feedback vibrotactiles
- Définition protocole expérimental pour évaluer illusions tactiles en utilisant théories de la gestalt

### **2ème année :**

- Réalisation expérimentation, analyse des données et rédaction article
- Caractérisation survenue illusion et définition d'un protocole expérimental pour étude survenue illusion en situation écologique de pilotage (utilisation scénarios identifiées précédemment)
- Réalisation expérimentation en situation écologique et conception de feedback vibrotactiles permettant de réduire le risque d'illusion

### **3ème année :**

- Evaluation et réadaction articles sur principe de design pour feedback vibrotactiles résistant aux illusions
- Rédaction manuscrit de thèse

## Profil recherché

- Master 2 recherche ou diplôme d'ingénieur en interaction humain-machine, informatique, science cognitive, robotique, neuroscience;
- Fort intérêt pour l'interaction humain-machine, l'informatique et les sciences cognitives;
- Compétences en programmation (Python, Qt, C++) et en électronique et mécanique;
- Autonome, motivé et rigoureux.

## Modalité de candidature

Les candidatures sont à adresser à Sylvain Pauchet ([sylvain.pauchet@enac.fr](mailto:sylvain.pauchet@enac.fr)) et Jean-Christophe Sarrazin ([jean-christophe.sarrazin@onera.fr](mailto:jean-christophe.sarrazin@onera.fr))

Elles doivent être constituées d'un CV, d'une lettre de motivation, de la copie des notes et classement aux examens de M1 et de M2 (si disponible). Du rapport de M2 (si disponible) ainsi que toutes autres pièces que vous jugerez utiles.

## Bibliographies

[1] Dempsey Chang, Keith V. Nesbitt, and Kevin Wilkins. 2007. The gestalt principles of similarity and proximity apply to both the haptic and visual grouping of elements. Proceedings of the eight Australasian conference on User interface - Volume 64

[2] Khaled Fella and Mohamed Guiatni. 2019. Tactile Display Design for Flight Envelope Protection and Situational Awareness. IEEE Transactions on Haptics 12, 1: 87–98.

[3] Alberto Gallace and Charles Spence. 2011. To what extent do Gestalt grouping principles influence tactile perception? Psychological Bulletin 137, 4: 538–561.

[4] James Gibson. 1966. The Senses Considered as Perceptual Systems. Houghton Mifflin, Boston.

[5] Hiraku Komura, Toshiki Nakamura, and Masahiro Ohka. 2021. Investigation of Tactile Illusion Based on Gestalt Theory. Philosophies 6, 3: 60.

[6] Kathryn G. Tippet et al.. 2017. General Aviation Weather Alerting: The Effectiveness of Different Visual and Tactile Display Characteristics in Supporting Weather-Related Decision Making. The International Journal of Aerospace Psychology 27, 3–4: 121–136.

[7] Dong-Bach Vo, Sylvain Pauchet et al. 2023. Tactilient: Turbulence resilient tactile icons for pilot feedback. Proceedings of the 2023 CHI