

M. Corentin Bernard

Thèse | **Perception of audio-haptic textures for new touchscreen interactions**

École doctorale | Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique (ED 353)

Accompagné par Sølvi Ystad & Michaël Wiertlewski
| PRISM (UMR 7061) & ISM (UMR 7287)



Les écrans tactiles ont envahi notre quotidien et sont maintenant présents dans un grand nombre d'appareils tels que les téléphones, les ordinateurs, les bornes de commande, etc. Leur succès a aussi gagné l'industrie automobile, où les écrans ont remplacé les boutons physiques pour gérer les paramètres de l'environnement de conduite. Cependant, contrairement aux boutons physiques, les interfaces sur écran tactile ne possèdent pas d'éléments tangibles permettant à l'utilisateur de sentir les commandes. Sans retours tactiles, les utilisateurs ne peuvent se fier qu'aux indications visuelles et de simples tâches de réglage peuvent devenir des sources de

distraktion importantes au volant par exemple.

Récemment, des technologies appelées écrans haptiques ont fait leur apparition dans l'optique de redonner une certaine physicalité à ces interfaces en recréant les sensations de toucher des textures à leur surface. Ces technologies se basent sur le phénomène de lévitation acoustique qui, à l'aide de vibrations très hautes fréquences, provoque l'apparition d'un fin coussin d'air entre le doigt et l'écran qui permet de contrôler le frottement. Cependant, les textures de synthèse ainsi créées provoquent des sensations tactiles totalement inhabituelles. Dans la littérature scientifique, il n'était pas encore pas bien compris comment ces textures synthétiques par variation de frottement étaient perçues par l'humain. Cette question est pourtant cruciale pour la conception d'interfaces haptiques pertinentes et intuitives.

À la suite de mon cursus d'ingénieur à l'École Centrale de Marseille et d'un master de recherche en acoustique à l'Université d'Aix-Marseille, j'ai commencé à me pencher sur cette question en tant qu'ingénieur en recherche et développement



chez le constructeur automobile Stellantis (anciennement Groupe PSA) en région parisienne. Animé par l'envie d'approfondir certains aspects plus fondamentaux, j'ai ensuite poursuivi ces recherches en thèse CIFRE sous la supervision de Sølvi Ystad au laboratoire PRISM (Perception, Représentation, Image, Son et Musique) à Marseille et de Michaël Wiertleswski, d'abord à l'ISM à Marseille puis à TU Delft, dans le cadre d'une collaboration avec Stellantis.

Dans le cadre de cette thèse, j'ai tout d'abord construit un capteur de frottement haute-précision pour mesurer les seuils de perception des textures recrées grâce à cette technologie, c'est-à-dire les plus petites variations de frottement que l'être humain est capable de percevoir.

Ensuite, j'ai étudié comment des retours sonores peuvent être combinés à des retours tactiles tout en conservant une certaine cohérence entre ces deux stimulations. Basée sur des méthodes expérimentales issues des neurosciences, cette étude a aussi mis en évidence des mécanismes communs au niveau du cerveau entre les sens de l'ouïe et du toucher.

Finalement, j'ai conçu un prototype pour développer une nouvelle façon d'interagir avec un écran tactile doté de cette technologie haptique, en réglant un paramètre (la ventilation par exemple) seulement par le toucher, sans aucun affichage visuel. Lors du réglage, l'utilisateur ressent sous le doigt une texture qui évolue en fonction de ce paramètre et l'informe du stade de déroulement de l'action.

Ces travaux ont fait l'objet de différentes publications et brevets, et sont poursuivis en interne chez Stellantis. Ils ont aussi eu des retombées dans le domaine de l'accessibilité des interfaces numériques pour les personnes malvoyantes.

À la suite de ma thèse, j'ai obtenu un financement de postdoctorat pour un projet de deux ans dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire PRISM et l'entreprise Aflokkat à Ajaccio. En parallèle de mes recherches, ce contrat me permet de participer à la construction du laboratoire MIRA-Recherche adossé au projet d'école d'ingénieur MIRA (Mediterranean Institute of Robotics and Automation), porté par Aflokkat, qui ouvrira en septembre 2024. Le projet scientifique de ce postdoctorat porte sur le développement d'algorithmes de compression des vibrations adaptés à la perception tactile.

Mme Mona Ezzadeen

Thèse | **Conception d'un circuit dédié au calcul dans la mémoire à base de technologie 3D innovante**

École doctorale | Sciences pour l'Ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique (ED 353)

Accompagné par Jean-Michel Portal | IM2NP (UMR 7334)



Quelle époque passionnante dans laquelle nous vivons ! Nous sommes *intelligents* et connectés. Nous avons de super-pouvoirs. Nous sommes *augmentés*. Nous pouvons nous déplacer partout, même dans des villes étrangères, en suivant les instructions de notre téléphone *intelligent*. Mais les téléphones ne sont pas les seuls objets de la vie quotidienne à être super *intelligents*. En effet, des aides auditives intelligentes ultra-compactes permettent aux personnes malentendantes à se sentir à l'aise lorsqu'elles discutent avec d'autres personnes. Les stimulateurs cardiaques *intelligents*, directement implantés sous la peau, peuvent stimuler le cœur et le

surveiller pour prévenir les crises cardiaques. Et, plus récemment, des implants cérébraux *intelligents* peuvent même permettre à des personnes paralysées de retrouver la marche.

Cette intelligence m'a toujours fasciné. Tous ces petits circuits verts que contenaient certains de ces objets avec leur quantité de petits composants noirs et de fils interconnectés me paraissaient d'une complexité infinie. C'est par conséquent tout naturellement qu'après une classe préparatoire aux grandes écoles, j'intégrais l'école d'ingénieur PHELMA à Grenoble, spécialisée en physique, électronique et matériaux.

Et puis, vint la déception. J'ai découvert que tous ces objets qui me fascinaient tant ne sont pas réellement *intelligents*. La plupart d'entre eux collectent simplement des données et les envoient à un ordinateur centralisé, quelque part dans ce qu'on appelle un « nuage », le « cloud » en anglais. Ce dernier effectue tous les calculs et renvoie les résultats à l'appareil, nous donnant l'impression d'intelligence. Ce réseau d'appareils connectés à un ordinateur distant centralisé est l'essence même de l'*Internet des objets*.



Cependant, cette intelligence a un prix : une forte dépendance à la connectivité réseau, une consommation énergétique non négligeable et des préoccupations importantes en matière de confidentialité et de sécurité.

Ces réflexions m'ont naturellement mené à poursuivre une thèse au sein du CEA Grenoble et du laboratoire IM2NP d'Aix Marseille Université, avec un seul but : rendre ces objets du quotidien réellement *intelligents*, de sorte qu'ils n'aient plus besoin d'envoyer fréquemment des données vers le « cloud » pour y effectuer leurs calculs.

Malheureusement, les calculs en général et l'intelligence artificielle en particulier sont connus pour être énergivores. Leur consommation énergétique provient principalement des échanges de données entre les mémoires et les unités de calcul, et leur consommation n'est plus compensée par la miniaturisation des circuits intégrés CMOS. Cependant, les appareils connectés disposent généralement d'un budget énergétique très limité, souvent fourni par une petite batterie. Pour surmonter ce problème, ma thèse explore un nouveau paradigme de calcul, appelé calcul en mémoire. En effectuant le calcul directement dans ou juste à côté des mémoires, notre objectif est de réduire considérablement la consommation d'énergie, tout en bénéficiant d'un important parallélisme de calcul.

Pour éviter la perte de données en cas de coupure de courant, l'utilisation de mémoires non volatiles est cruciale pour les applications de réseaux de neurones, qui nécessitent de stocker une importante quantité de poids synaptiques. Hélas, la mémoire Flash, qui est la mémoire non volatile principalement commercialisée, présente des problèmes de miniaturisation et n'est pas très adaptée au calcul en mémoire.

Dans ma thèse, j'explore les capacités de nouvelles technologies mémoires non volatiles émergentes, notamment les mémoires résistives *ReRAM*, à offrir des capacités de calcul en mémoire ultra-denses, robustes et économes en énergie. Nous avons développé, fabriqué, et testé des circuits intégrés implémentant des accélérateurs neuromorphiques innovants et efficaces énergétiquement. Afin de résoudre les problématiques de densité d'intégration des mémoires émergentes face aux mémoires Flash 3D, nous avons développé un cube mémoire ultra-dense en trois dimensions, à base de technologie résistive *ReRAM*, pouvant être utilisé en tant qu'accélérateur de calcul en mémoire à faible coût et à haute efficacité énergétique.

Suite à ma thèse, je continue à poursuivre mes recherches dans le même domaine en tant qu'ingénieur-chercheur au sein du CEA de Grenoble.