



HAL
open science

Dispositif de communication tactile : usages et contraintes ergonomiques.

Gabriel Arnold, Dorine Arcangeli, Cédric Germain, Jean-Claude Germain

► To cite this version:

Gabriel Arnold, Dorine Arcangeli, Cédric Germain, Jean-Claude Germain. Dispositif de communication tactile : usages et contraintes ergonomiques.. ERGO'IA 2023 " L'avenir de l'humain dans les systèmes sociotechniques du futur ", Oct 2023, Bidart, France. hal-04405067

HAL Id: hal-04405067

<https://hal.science/hal-04405067>

Submitted on 19 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dispositif de communication tactile : usages et contraintes ergonomiques.

Gabriel ARNOLD

CAYLAR

Villebon-sur-Yvette, 91140, France
gabriel.arnold@caylar.net**Dorine ARCANGELI**

LINP2, Université Paris Nanterre

Nanterre, 92000, France

CAYLAR

Villebon-sur-Yvette, 91140, France
dorine.arcangeli@caylar.net**Cédric GERMAIN**

CAYLAR

Villebon-sur-Yvette, 91140, France
cedric.germain@caylar.net**Jean-Claude GERMAIN**

CAYLAR

Villebon-sur-Yvette
91140, France
jc.germain@caylar.net**Abstract**

Augmented perception technologies allow access to information that would not be accessible naturally. However, they can contribute to augment cognitive overload. Haptic technologies, and more specifically tactile stimulation devices, make it possible to access to information, while keeping the eyes, ears and hands free. By stimulating the body directly, they are particularly interesting when it comes to orienting oneself in space, controlling one's posture and gestures, or being alerted to a danger. In this paper, we illustrate through different use cases how this type of technology allows to establish an intuitive and easy to understand tactile language, allowing to decrease the cognitive load. Nevertheless, we highlight that the integration of this type of technology must consider the ergonomics of the user, both at the cognitive level and in terms of interaction with an operational equipment.

Author Keywords

Perception Augmentée, Haptique, Communication tactile, Charge Cognitive, Ergonomie Cognitive.

CSS Concepts

- **Human computer interaction (HCI)**; Haptic devices; User studies.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page.

Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author. Copyright is held by the owner/author.

ERGO'IA 2023, October 10--13, 2023, Bidart, France.

ISBN: 979-8-4007-0910-4

Introduction

L'humain est très souvent confronté à un nombre important d'informations à traiter simultanément et provenant de ses différents sens (vision, audition, toucher, proprioception). Dans de nombreux domaines, l'utilisation de systèmes de capteurs et d'assistance à la perception lui donne accès à de plus en plus d'informations. Par exemple, les caméras et radars avant/arrière des véhicules permettent au conducteur de percevoir les obstacles et autres véhicules à 360°. Pour le conducteur de moto ou le pilote d'hélicoptère, l'introduction de systèmes de réalité augmentée, avec affichage tête haute, lui permet d'accéder aux informations de navigation ou d'état du véhicule, tout en gardant les yeux sur l'environnement. Néanmoins, si ces technologies augmentent les capacités d'accès à l'information, elles peuvent également contribuer à augmenter la charge cognitive, en multipliant les sources d'information pour l'utilisateur. Le degré de charge cognitive étant fortement corrélé à la complexité de l'information [7], une stratégie pertinente pour réduire cette charge consiste à développer des technologies d'augmentation qui apportent des informations simples et intuitives à l'utilisateur. Par exemple, les technologies d'assistance au stationnement se basent sur un codage sonore très simple de la distance entre le véhicule et l'obstacle ou sur l'ajout de symbologies colorées indiquant directement la bonne trajectoire sur le retour visuel des caméras avant/arrière.

Dans cette perspective de perception augmentée basée sur l'intuitivité de l'information, les technologies haptiques, et notamment les dispositifs mettant au contact du corps des actionneurs tactiles, représentent des systèmes d'accès à l'information particulièrement

intéressants [2, 3, 6]. Premièrement, ces technologies offrent un canal de communication supplémentaire, permettant d'accéder à l'information autrement que par la vision et l'audition. Ces technologies sont alors particulièrement utiles lorsqu'un sens est déficient (déficience visuelle ou auditive) mais également lorsque les conditions perceptives sont dégradées (nuit, brouillard, foule, bruit). Deuxièmement, la modalité tactile, moins utilisée que les modalités visuelle ou auditive, présente un caractère saillant, avec un potentiel important d'attraction de l'attention [5]. Dans un contexte de pilotage ou de conduite, une stimulation tactile, en supplément ou complément des stimulations visuo-auditives, peut compenser les effets de focalisation attentionnelle qui conduisent à ignorer des alertes importantes [4].

En plus de sa capacité à compenser les déficits perceptifs et attentionnels, la modalité tactile permet également de présenter des informations de manière simple et intuitive [5]. Par exemple, lorsqu'il s'agit de guider un geste ou de contrôler la posture, les stimulations tactiles représentent un langage directement corporel. Ce caractère corporel s'exprime aussi pleinement lorsqu'il s'agit de s'orienter dans l'espace et de suivre une direction, à l'aide de stimulations vibratoires réparties à 360° autour de la taille. En effet, le tronc, de par sa position centrale, représente le référentiel principal pour se représenter dans l'espace de manière égocentrée [1].

Technologie de communication tactile

Au sein de la société CAYLAR, nous développons un dispositif de communication tactile basée sur l'intégration de modules vibratoires dans des supports textiles (ceinture, brassard, cuissard, harnais ; voir



Figure 1 : Prototypes de ceinture et harnais tactiles.

Figure 1). Ces produits textiles vibrants intègrent également des capteurs embarqués (GPS, centrale inertielle), offrant des fonctions de communication à distance et d’alerte mais également de suivi de direction ou de contrôle postural.

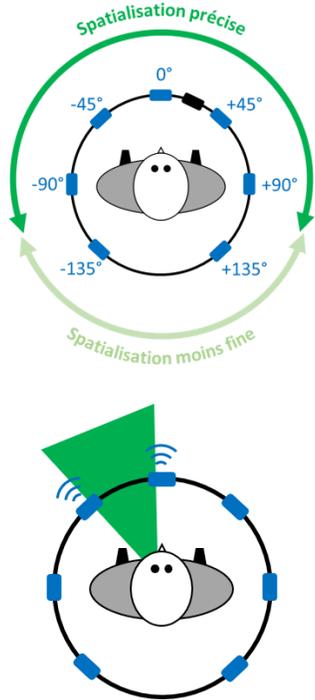


Figure 2 : Illustration de la fonction de suivi de direction avec des modules vibratoires répartis à 360° autour de la taille.

La fonction de suivi de direction consiste par exemple à activer les modules vibratoires autour de la taille selon l’orientation de l’utilisateur par rapport à la direction à suivre (voir Figure 2). L’utilisateur sait qu’il est dans la bonne direction lorsque la vibration est activée en position centrale, au niveau du nombril. Lorsque l’utilisateur dévie par rapport à cette direction, le module vibratoire activé lui indique son degré de déviation. Ce type de capteur permet de rafraîchir les informations spatiales à une fréquence relativement élevée (50Hz ; toutes les 20 ms), ce qui permet à l’utilisateur de recevoir un feedback sur son orientation quasiment en temps réel. Le GPS intégré permet d’utiliser cette fonction pour atteindre un ou plusieurs waypoints successifs. Dans le domaine militaire, cette fonction permet par exemple de s’affranchir, au moins temporairement, de l’utilisation d’une carte ou d’un GPS. Le militaire peut garder les mains sur l’arme, les yeux sur l’environnement et progresser de manière discrète en se laissant guider par la vibration. De la même façon, des vibrations couplées à des inclinomètres placés sur le corps ou des systèmes de caractérisation de la posture par capteur permettent d’offrir des fonctions de contrôle postural ou de guidage du mouvement (voir Figure 3).

Les sections suivantes présentent les différents résultats et retours d’expérience obtenus dans des protocoles d’évaluation de ces fonctions vibratoires,

ainsi que les contraintes ergonomiques à prendre en compte pour une utilisation opérationnelle efficace.

Guidage et orientation dans l’espace

Des tests en laboratoire nous ont permis d’évaluer la précision spatiale de la fonction de guidage. Les participants (n=40) devaient se déplacer en marchant vers un point puis choisir une direction parmi 12 directions possibles marquées au sol (tous les 30°), selon la position de la vibration déclenchée autour de la taille. La vibration était déclenchée soit avant soit pendant le déplacement du participant. Les résultats obtenus montraient que les participants étaient capables de choisir la bonne direction avec un pourcentage correct de 80%. Les erreurs de direction correspondaient en grande majorité à choisir la direction adjacente, avec une erreur supérieure à 30° dans moins de 2.5% des cas. Les performances étaient équivalentes lorsque la vibration était déclenchée avant ou pendant la marche. Ce test a également permis de montrer que les participants étaient capables d’apprendre un langage tactile avec des séquences vibratoires leur indiquant d’éviter un obstacle de 6 façons différentes (déviation gauche/droite, se baisser/enjamber, s’arrêter/faire demi-tour). Les consignes d’évitement d’obstacle étaient correctement suivies dans 95% des cas, même lorsque la séquence vibratoire était déclenchée pendant la marche.

Un deuxième protocole de test (n=11) nous a permis de confirmer la précision spatiale des vibrations ressenties autour de la taille, tout en évaluant l’effort attentionnel et le degré de confiance accordée au système avec des échelles de Lickert en 5 points. Des vibrations déclenchées tous les 45° autour de la taille étaient localisées quasiment sans erreurs (97.8%),

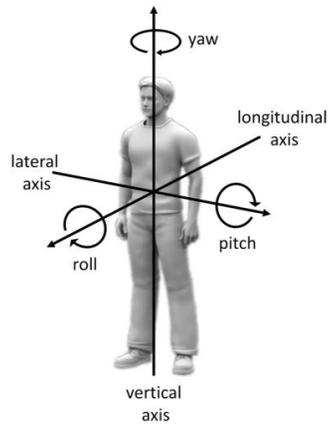


Figure 3 : Illustration de la fonction de contrôle postural et des essais pour un usage en rééducation kiné.

avec un effort attentionnel faible (1.64/5) et une confiance élevée (4.79). Lorsqu'il s'agissait de localiser deux vibrations simultanément, les performances restaient élevées (92%), avec un effort attentionnel un peu plus important (2.86/5) et une confiance un peu moins élevée (3.68/5).

Des tests en environnement militaire ont permis d'évaluer la fonction de guidage vibratoire en milieu opérationnel simulé. Un groupe de fantassin devait suivre des points de passage en se déplaçant dans différents milieux (terrain dégagé, milieu urbain, sous-bois). Les essais effectués confirment l'intuitivité de cette fonction, avec des performances de navigation efficaces (atteinte des waypoints sans erreurs), sans apprentissage et avec un degré de confiance élevé (indications de direction claires). Cependant, les retours d'expérience montrent que l'usage pour lequel cette fonction de guidage est vraiment pertinente reste encore à définir. Par exemple, certains opérateurs indiquent que les moyens classiques de navigation (GPS, carte, repères visuels) sont suffisants dans des conditions normales de progression, notamment de jour, et que les contraintes ergonomiques (poids, énergie, encombrement) ne justifient pas une utilisation généralisée du système. En revanche, le système de guidage vibratoire pourrait s'avérer pertinent dans des conditions de perception dégradée (e.g., nuit, jungle, désert) ou dans des missions impliquant un degré élevé de discrétion.

De plus, les retours d'expérience indiquent que l'opérateur ne doit pas se retrouver trop dépendant du système et qu'il est par exemple important de pouvoir déclencher la fonction de guidage sur demande, lorsqu'elle est vraiment nécessaire. Enfin, il est

important que l'opérateur puisse accorder une confiance élevée au système, ce qui nécessite un couplage avec un système de géolocalisation fiable et résilient.

Contrôle postural et assistance au geste

La fonction de contrôle postural a pu être évaluée avec un groupe de patients Parkinson avec trouble de la posture (n=5). Les patients devaient adopter une position debout ou assise et, lorsqu'une déviation anormale du tronc était détectée, une vibration était déclenchée selon 4 positions autour de la taille (avant, arrière, gauche, droite) pour leur indiquer dans quelle direction rétablir leur posture. Les patients ont été capables de corriger leur posture correctement dans 78.7% des cas, sans différence significative entre les positions debout ou assise. Le potentiel de cette fonction de contrôle postural est actuellement évalué par un kiné du sport, dans des exercices d'équilibre, de proprioception, de gainage ou de renforcement musculaire (voir Figure 3). Les premiers essais montrent que la transmission d'un feedback directement sur le corps aide le sportif ou le patient à comprendre et à ressentir la bonne posture ou les bons mouvements et pourrait augmenter la conscience corporelle. L'intérêt de l'utilisation d'un tel guidage postural par une stimulation tactile a également pu être confirmé dans une étude utilisateur, avec un panel de sportifs, kinés, entraîneurs et préparateurs physiques.

Dans le domaine de la rééducation, notre système offre également des possibilités de travail en autonomie, avec la possibilité pour le patient de suivre des consignes de rééducation et de bénéficier en retour d'un feedback postural. Dans cette perspective, des tests en laboratoire ont pu montrer que des volontaires

sains étaient capables de suivre un ensemble de consignes vibratoires indiquant des mouvements du bras à effectuer avec l'épaule ou le coude, dans le plan frontal ou sagittal, à une certaine amplitude et un certain nombre de fois. Des travaux de thèse sont actuellement en cours pour poursuivre ce travail et développer un dispositif de guidage du membre supérieur, en se focalisant notamment sur les synergies épaule-coude.

Alerte et communication

En termes d'alerte, notre technologie confirme le potentiel de la modalité tactile. Des tests en laboratoire, dans lesquels des participants (n=20) devaient signaler le déclenchement d'une vibration sur le corps par un appui clavier, ont par exemple montré qu'une stimulation tactile était détectée dans pratiquement 100% des cas, même en situation de double tâche mobilisant les modalités visuelle et auditive (visionnage d'un film). Cependant, les tests sur le terrain, dans le domaine militaire notamment, montrent que la détection des alertes tactiles dépend des mouvements effectués par l'opérateur ou du degré de charge cognitive lié aux autres tâches. Par exemple, il a été observé que les messages vibratoires sont parfois ignorés ou mal compris lorsque l'opérateur doit porter son attention sur l'environnement pour détecter une cible (e.g., présence d'ennemi).

De manière plus générale, les tests effectués montrent que l'utilisation d'un langage tactile, associant une séquence vibratoire spécifique à un ordre, une consigne ou une alerte (e.g., entrée/sortie d'une zone dangereuse, départ de tir), doit être limité à environ 4-5 messages importants associés à des séquences vibratoires claires et fortement discriminables. Les

retours d'expérience montrent qu'il est également important de déclencher le message vibratoire au moins deux fois successivement. La première itération permet à l'opérateur d'être alerté et la deuxième lui permet de comprendre le contenu du message.

Enfin, il est intéressant de noter que ce type d'usage n'est pas limité à l'homme. Des essais dans le domaine du chien militaire montrent par exemple que le chien est capable d'apprendre un langage tactile, permettant au maître de le guider à distance, avec un apprentissage d'environ 6-7 ordres différents en 3 semaines.

Contraintes ergonomiques

En termes d'ergonomie cognitive, les retours d'expérience montrent que des précautions doivent être prises pour utiliser ce type de dispositif de manière efficace. Un piège à éviter consiste à contribuer encore plus à la surcharge sensorielle et cognitive. Pour la plupart des usages, il s'agit donc de sélectionner un nombre limité d'informations importantes, basées sur un langage tactile très clair, sans vouloir atteindre les performances et la richesse des modes de communication classique. De plus, ce langage tactile doit être le plus simple et intuitif possible, en se basant sur des métaphores naturelles : analogie spatiale entre une direction à suivre et une déviation angulaire autour de la taille ; utilisation de rythmes plus ou moins intenses pour des messages d'alertes. Sur certains aspects du langage tactile, des différences ou préférences individuelles peuvent également exister : aller vers une vibration ou à l'opposé d'une vibration pour effectuer un mouvement peut être plus ou moins naturel d'une personne à l'autre.

Pour un certain nombre d'usage, ce mode d'accès à l'information correspond à un mode dégradé. Par exemple, comparé à un GPS avec cartographie et visualisation d'itinéraire, la fonction de suivi de direction est réduite à son strict minimum. C'est avantageux en termes de complexité de l'information mais la question de la confiance accordée par l'utilisateur au système devient cruciale. Par exemple, si la vibration est désactivée lorsque l'utilisateur est dans la bonne direction ou adopte la bonne posture, il peut toujours avoir un doute sur le bon fonctionnement du système. Pour la fonction de correction posturale, le paramétrage des capteurs et la gestion des fausses alarmes sont également des éléments cruciaux. Enfin, dans un mode de communication de personne à personne, l'absence de retours verbaux ou non verbaux du destinataire vers l'expéditeur peut également créer du doute et des procédures d'acquiescement ou de confirmation peuvent s'avérer utiles.

En termes d'ergonomie physique, l'intégration d'un nouvel équipement dans des contextes d'usage pour lesquels l'équipement opérationnel est déjà lourd et complexe (militaire), ou nécessitant au contraire un équipement ultra léger (sport de haut-niveau), est également une problématique importante. Le support textile doit être le plus léger, respirant et confortable possible. De plus, les modules vibratoires doivent être au plus proche du corps pour un bon ressenti des vibrations. Lorsqu'un équipement de protection existe déjà (e.g., gilet de protection), la question de l'intégration de la technologie vibratoire à l'équipement existant ou de l'ajout d'un « sous-équipement » léger reste donc ouverte.

Conclusion

Les résultats de ces différents tests et évaluations confirment le potentiel de notre technologie de communication tactile dans des domaines exigeants tels que le sport, la rééducation ou le domaine militaire. L'utilisation de la modalité tactile permet d'accéder à un certain nombre d'informations importantes de manière simple et intuitive et pourrait donc contribuer à réduire la charge cognitive de l'opérateur. Cependant, les contraintes ergonomiques conséquentes à l'appropriation d'un nouveau mode d'accès à l'information et à l'intégration d'un nouveau système à un équipement existant montrent que cette nouvelle technologie doit cibler des usages avec une haute valeur ajoutée et doit s'ingérer de la manière la plus transparente possible.

Remerciements

Les travaux présentés ont été financés par la DGA, l'Agence d'Innovation Défense et la Région Ile de France. Ils ont également été réalisés en collaboration avec le MEDES, le CHU de Toulouse et Safran ED. Dorine Arcangeli bénéficie actuellement d'une bourse Cifre Défense.

References

- [1] Adrian J.T. Alsmith and Matthew R. Longo. 2014. Where exactly am I? Self-location judgments distribute between head and torso. *Conscious Cogn* 24: 70-74.
- [2] Paul Bach-y-Rita and Stephen W. Kercel. 2003. Sensory substitution and the human-machine interface. *Trends Cogn Sci* 7, 12: 541-546.
- [3] Eric van Breda, Stijn Verwulgen, Wim Saeys, Katja Wuyts, Thomas Peeters, and Steven Truijen. 2017. Vibrotactile feedback as a tool to improve motor learning and sports performance: a

systematic review. *BMJ Open Sport Exerc Med* 3, 1: e000216.

- [4] Frédéric Dehais, Mickaël Causse, François Vachon, Nicolas Régis, Eric Menant, and Sébastien Tremblay. 2014. Failure to detect critical auditory alerts in the cockpit: evidence for inattentional deafness. *Hum Factors* 56, 4: 631-644.
- [5] Jan B.F. van Erp and Peter Werkhoven. 2006. Validation of principles for tactile navigation displays. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 50: 1687-1691.
- [6] Peter A. Hancock, Ben Lawson, Roger Cholewiak, Linda R. Elliott, Jan B.F. van Erp, Bruce J.P. Mortimer, Angus Rupert, and Elizabeth S. Redden. 2015. Tactile cuing to augment multisensory human-machine interaction. *Ergonomics in design* 23, 2: 4-9.
- [7] Erland Svensson, M. Angelborg-Thanderez, Lennart Sjöberg, and Stellan Olsson. 1997. Information complexity-mental workload and performance in combat aircraft. *Ergonomics* 40, 3: 362-380.