



HAL
open science

Vers davantage d'information tactile sur les variateurs linéaires

Sandra Parriaud, Valentine Reynaud, Jean-Baptiste Joatton, Sybille Caffiau,
Céline Coutrix

► **To cite this version:**

Sandra Parriaud, Valentine Reynaud, Jean-Baptiste Joatton, Sybille Caffiau, Céline Coutrix. Vers davantage d'information tactile sur les variateurs linéaires. Actes de la 31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM 2019), Dec 2019, Grenoble, France. pp.11:1-11, 10.1145/3366550.3372257. hal-02381595

HAL Id: hal-02381595

<https://hal.science/hal-02381595>

Submitted on 26 Nov 2019

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.

Vers davantage d'information tactile sur les variateurs linéaires

Towards more tactile information on sliders

Sandra Parriaud¹, Valentine Reynaud^{1,2}, Jean-Baptiste Joatton¹, Sybille Caffiau³, Céline Coutrix³
¹Pôle Supérieur de Design
 Léonard de Vinci
 Villefontaine, France
 parriaud.sandra@gmail.com,
 jean-baptiste.joatton@ac-grenoble.fr
²Institut de recherches
 philosophiques de Lyon,
 Université Jean Moulin Lyon 3,
 Lyon, France
 valentine.reynaud@gmail.com
³Université Grenoble Alpes, CNRS
 Grenoble, France
 Prenom.Nom@univ-grenoble-alpes.fr



Figure 1: Prototypes basse fidélité de variateurs linéaires donnant une information tactile aux utilisateurs. Ces prototypes ont été réalisés par les participants de la 2^{nde} expérience, et correspondent aux scénarii présentés au-dessus.

ABSTRACT

Sliders are ubiquitous in everyday environment, whether on our mobile devices or in objects such as the control of a sound system. The tactile feedback they offer is still very limited, even though we often use them eyes-free. In order to inform the design of the sliders' tactile information in the future, we present a qualitative study showing how users understand textures. We found that the characteristics identified in the literature to describe textures are not enough to characterize possible textures that could apply to sliders; that some characteristics oppose; and that the importance of the characteristics are dependent on the users. In a second study we use these results to inform the design of the future tactile feedback of sliders.

CCS CONCEPTS

- Human-centered computing → User studies, Laboratory experiments, Pointing devices, Touch screens, Haptic devices.

KEYWORDS

Sliders, tactile feedback, tactile feedforward, interaction technique, design

RÉSUMÉ

Les variateurs linéaires sont omniprésents dans les interfaces du quotidien, qu'ils soient sur nos dispositifs mobiles ou dans les objets tels que la commande de la chaîne Hi-Fi. Leur retour d'information tactile est encore très limité. Afin d'informer la conception de leur information tactile dans le futur, nous présentons une étude qualitative montrant comment les utilisateurs appréhendent subjectivement les textures. Les résultats montrent que les caractéristiques décrivant les textures identifiées dans la littérature ne sont pas suffisantes pour caractériser l'ensemble des possibilités pour les variateurs linéaires ; que certaines caractéristiques s'opposent ; et que l'importance des caractéristiques sont dépendantes des utilisateurs. Nous utilisons ces résultats pour informer

la conception du retour d'information tactile de variateurs linéaires dans une seconde étude.

MOTS CLÉS

Variateurs, Sliders, Retour d'information tactile, Technique d'interaction, Design

1 INTRODUCTION

Les variateurs linéaires sont des dispositifs d'interaction en entrée pour ajuster des variables continues [4]. Pour ajuster la valeur d'une variable, l'utilisateur fait glisser un curseur le long d'un rail [4]. Ce curseur peut être soit graphique dans le cas d'une interface tactile, ou tangible. Les variateurs linéaires sont omniprésents dans le quotidien, que ce soit sur nos dispositifs mobiles ou dans les objets tels que la commande du chauffage. Le retour d'information tactile qu'ils proposent est encore très limité.

Dans cet article, nous visons une information tactile le long du variateur (tactile ou tangible) pour l'utiliser sans le regarder, comme lorsqu'on traverse la rue par exemple. Nous imaginons des variateurs linéaires tels que ceux de la Figure 1. Ces variateurs montrent comment l'information tactile pourrait être utilisée pour des tâches qui reposent aujourd'hui sur de l'information visuelle.

Il est aujourd'hui encore difficile de concevoir une information tactile adaptée pour les variateurs linéaires. À notre connaissance, bien que Lischke [19] et MacLean [21] et leurs collaborateurs aient exploré le retour d'information *haptique*, il n'existe pas d'étude explorant les informations *tactiles* qui pourraient être proposées sur des variateurs linéaires.

Dans cet article nous présentons deux études sur les caractéristiques tactiles qui peuvent être utilisées pour proposer de l'information tactile dans les variateurs linéaires. Pour cela, nous adoptons une approche orientée *design* afin d'explorer un large éventail de possibilités et de mettre le ressenti de l'utilisateur au cœur de la conception. Les deux études ont pour but de recueillir des connaissances sur (1) les caractéristiques décrivant les textures *du point de vue subjectif* des utilisateurs et (2) l'utilisation des caractéristiques décrivant les textures pour le retour d'information tactile des variateurs linéaires.

2 ÉTAT DE L'ART

Comme le précise Potier et ses collaborateurs [26], il n'existe pas de définition consensuelle d'une **texture**. Pour explorer les caractéristiques tactiles, des **matériaux** qui

présentent une texture sont souvent utilisés [23]. Dans cet article, nous utilisons des échantillons de **matériaux** afin de nous affranchir des limitations technologiques actuelles.

Les qualités tactiles et haptiques perçues en utilisant des variateurs linéaires sont (1) la rugosité, via le contact statique avec le curseur ou, avec une plus grande précision, via le frottement du doigt ou du curseur le long du variateur [11][14][16]; (2) la dureté [14][16] via la pression du doigt sur le curseur; et la température, via le contact statique des doigts sur le curseur [14][16].

Nous présentons les travaux autour de l'information haptique et tactile s'appliquant aux variateurs.

Variateurs linéaires et retour d'information haptique

Le retour d'information haptique sur variateurs linéaires suit deux approches: la première avec changement de forme du variateur linéaire et la seconde sans.

Les travaux dans le domaine de l'interaction tangible proposent, via le changement de forme physique, un retour d'information haptique aussi bien que visuel. Tiab et Hornbæk [34] ont étudié l'information véhiculée par le changement de forme, en combinaison avec de la vibration, d'un bouton glissière. Le bouton, contrairement aux variateurs linéaires, ne véhiculait comme information que deux états. Au contraire nous visons à explorer davantage d'information tactile, et le long d'un variateur continu.

Tsimeris [35], Follmer [9], et Robinson [29] et leurs collaborateurs ont proposé des variateurs linéaires pouvant émerger d'une surface pour offrir un guide haptique le long du variateur. Aucun n'a cependant étudié le retour d'information tactile le long du variateur linéaire. MacLean [21], Bergdahl [5] et Vázquez [36] et leurs collaborateurs ont proposé un variateur linéaire avec un retour d'information haptique. Lischke et ses collaborateurs [19] ont ensuite montré expérimentalement que le retour d'information haptique offre de meilleures performances qu'un variateur standard ou un variateur tactile lorsque les utilisateurs ne peuvent pas le regarder. Nous souhaitons étudier également la texture le long du variateur.

Variateurs linéaires et retour d'information tactile

La perception d'une texture dépend de l'espace entre ses « pics » [7]. Un gradient positif, c'est-à-dire une alternance de surfaces lisses et rugueuses de plus en plus dense, permet d'atteindre plus rapidement des cibles qu'avec un gradient négatif [25]. Ces connaissances sur les qualités de la perception tactile ne renseignent pas sur les

caractéristiques appréhendées par les utilisateurs. À notre connaissance, il n'existe pas de travaux sur le retour d'information tactile visant spécifiquement les variateurs linéaires.

Il existe trois types de technologies pour fournir une information tactile à l'utilisateur [26]. D'abord, les vibreurs font vibrer la surface sous les doigts des utilisateurs. Par exemple, Gupta et ses collaborateurs [10] ont proposé un bracelet équipé de vibreurs, permettant à l'utilisateur de sentir la présence de cible tactile autour du poignet. Le prototype permet également un affichage de texture limité à la fréquence et à la force de la vibration en un point donné.

Ensuite, les matrices de picots permettent de déplacer indépendamment des picots sous le doigt, verticalement [13] ou horizontalement [20][33].

Enfin, les technologies à frottements programmables permettent de faire varier le frottement entre les doigts et la surface pour le faire plus ou moins glisser, via l'électrovibration [[32][3] ou l'effet de film d'air comprimé [1][6][18]. Elles fournissent un retour d'information tactile à l'utilisateur uniquement lorsque celui-ci déplace son doigt sur une surface.

Afin d'ouvrir notre exploration à d'autres caractéristiques tactiles que celles autorisées par la technologie actuelle, nous en faisons abstraction dans cet article.

Il existe beaucoup de classifications, du point de vue psychophysique, des propriétés tactiles des matériaux [23]. Les dimensions « rough/smooth », « hard/soft » et « cold/warm » sont consensuelles. La dimension « rough » peut être divisée entre « macro » et « fine ». Les auteurs considèrent aussi que la friction peut être prise en compte, via « moist/dry » et/ou « sticky/slippery ».

Pourtant, de nouvelles études sont nécessaires pour les trois raisons suivantes. D'abord, certaines études, comme celle de Rao et Lohse [28], utilisent la vue pour caractériser les échantillons. L'information identifiée n'est donc pas uniquement tactile, ce qui s'applique mal pour l'interaction sans regarder.

Ensuite, les matériaux utilisés biaisent les caractéristiques trouvées [23]. Par exemple certaines études utilisent uniquement du tissu [2][31] ou des matériaux pour voiture [30]. Même pour les études « généralistes » comme celle de cet article, il est impossible d'être exhaustif dans le choix des échantillons. Afin d'étoffer la connaissance sur les caractéristiques tactiles, nous visons dans cet article des échantillons dont une partie n'a jamais été testée [23].

Enfin, le vocabulaire caractérisant l'information tactile limite les résultats existants [23]. Pour éviter cela, nous avons recrutés de futurs professionnels en arts appliqués ayant la formation nécessaire pour qualifier les échantillons.

Nous présentons maintenant notre étude de l'appréhension subjective des textures par les utilisateurs.

APPRÉHENSION SUBJECTIVE DES TEXTURES

Cette étude vise l'identification de caractéristiques décrivant les textures *du point de vue subjectif* des utilisateurs. Plus particulièrement, nous cherchons à explorer les 3 hypothèses suivantes :

H1.1 : les caractéristiques décrivant les textures identifiées dans la littérature ne sont pas suffisantes pour caractériser l'ensemble des possibilités ;

H1.2 : il existe des relations (opposition, raffinement, ...) entre certaines caractéristiques ;

H1.3 : l'importance des caractéristiques sont variables d'un individu à l'autre.

Méthode

Pour étudier l'appréhension subjective des textures par les utilisateurs, nous avons choisi d'utiliser deux méthodes couramment utilisées en Interaction Homme-Machine : les entretiens avec une grille d'interprétation (*repertory grid interviews*) [16][17] et le tri par cartes [22]. Les entretiens suivant une grille d'interprétation permettent de comprendre comment les participants conceptualisent les éléments et comment les éléments sont reliés par les participants. Pour cela, un ensemble d'éléments est confronté aux participants qui les évaluent vis-à-vis de différents concepts. Ces concepts peuvent émaner des chercheurs ou des participants. Dans notre étude, les concepts d'évaluation émanent tous des participants eux-mêmes, afin de nous permettre d'identifier les caractéristiques que les participants considèrent pour l'évaluation des textures.

Le tri par cartes est une méthode qui permet de définir des regroupements selon la logique des participants. Nous avons utilisé cette méthode pour classer les caractéristiques obtenues.

Participants

Nous avons recruté 12 participants (7 Femmes, 5 Hommes), ayant entre 19 et 23 ans ($M = 21,25$ ans, écart-type = 1,01036), tous étudiants en arts appliqués et francophones. Ces étudiants ont une formation qui leur permet d'avoir le vocabulaire nécessaire à la description des textures.

Collection de textures physiques

Nous avons collecté 35 éléments aux textures variées (Figure 2 et annexe). Ces éléments ont été choisis à partir d'objets du quotidien pour la diversité de textures qu'ils offraient. Les 35 échantillons collectés offrent un large panel de matériaux : bois, matières plastiques, textiles, papiers plus ou moins texturés, mousses, ficelles, laines, métaux, etc. Certains matériaux comme les fils de laine ou la ficelle de cuisson ont été disposés différemment sur 2 échantillons afin d'expérimenter la diversité de propriétés tactiles que peut avoir un même matériau. Les échantillons 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 33, 34, et 35 de la Figure 2 se rapprochent de la littérature [23]. Les échantillons 8, 22, 27, 29, 30, 31, 32 de la Figure 2 n'ont pas été étudié [23].

Chaque échantillon est présenté sous la forme d'un carré de 6×6cm, collé en plusieurs points sur du carton, afin d'être facilement pris en main mais aussi frotté par le doigt pour palper son élasticité.



Figure 2 : Collection d'échantillons physiques.

Procédure et données récoltées

Procédure des entretiens

Après une explication de l'objectif de l'étude, les yeux du participant sont bandés et il est placé face aux échantillons, disposés de manière aléatoire sur une extrémité du plan de travail. L'expérimentatrice demande au participant de classer les échantillons qui sont face à lui selon sa convenance. Il est suggéré au participant d'adopter le classement qu'il souhaite, et il peut décider de ne pas classer tous les échantillons qui lui sont proposés. À la fin, il est demandé au participant d'expliquer son classement. Pour chaque entretien, les données recueillies sont l'enregistrement audio et une photo du classement

réalisé (annexe). Chaque passation a duré entre 7 et 30 min.

Analyse préliminaire des entretiens

Le corpus textuel des transcriptions des entretiens est constitué de 10839 occurrences et a fait l'objet de plusieurs analyses pour répondre aux hypothèses. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de l'outil Iramuteq [12].

Pour isoler les points de vue des participants, nous avons recherché les mots utilisés par les participants lorsqu'ils expliquent le classement des échantillons. Afin de ne pas différencier les accords mais uniquement la sémantique des mots, nous nous reposerons dans la suite sur les *formes* des adjectifs et noms utilisés. Par exemple, les adjectifs "petites", "petits" et "petit" seront regroupés dans la forme "petit". 352 formes ont été utilisées par les participants. De cette première liste, en étudiant le contexte dans lequel chaque mot est utilisé lors de l'entretien, nous avons identifié six « thèmes » lexicaux pour lesquels une liste de formes a été définie.

Le *processus de classement* a été le plus commenté (149 formes), via des repères temporels ou spatiaux avec des mots comme « axe », « gauche », « droite », etc. Nous les laissons de côté pour l'analyse qui suit.

Les *matériaux* (62 formes) sont commentés par des mots comme « poil », « fil », etc. Ces mots sont utilisés pour catégoriser les échantillons eux-mêmes ou pour exprimer une comparaison de la texture avec un matériau connu : « ça me fait vraiment penser à de la pierre » (P5). Nous les laissons de côté pour l'analyse qui suit.

Les *caractéristiques tactiles* alors comparées sont dans le troisième thème (58 formes). Ce thème se compose de mots tels que « Mousseux », « Souple », « Lisse », « Rugueux » ou « Doux ». Ce sont ces mots que nous considérons pour l'analyse qui suit.

Les *tics de langage parlé* représentent 47 formes : « [du] coup », « genre », « nan », etc. Nous les laissons de côté pour l'analyse qui suit.

Les participants ont évoqué des *émotions* (30 formes), via des mots tels que « agréables », par exemple. Ce thème fait partie des perspectives de notre travail.

Les participants ont aussi utilisé 6 formes qualifiant les échantillons par des *propriétés qui ne sont pas identifiables par le toucher*. Par exemple, « visuel », « bruit », etc. Ce thème ne se rapportant pas aux qualités tactiles des échantillons, nous les laissons de côté pour l'analyse qui suit.

À partir des 58 formes qualifiant les caractéristiques tactiles, nous avons supprimé les doublons sémantiques (comme « rugueux » et « rugosité ») et ainsi effectué 13 regroupements. Quinze formes n'étaient pas au même niveau d'abstraction que les autres, comme par exemple « frottement », « matière », « volume » ou « texture ». Ces mots peuvent regrouper des ensembles de caractéristiques. Notre étude visant à préciser les dimensions permettant de caractériser une texture, nous avons choisi de ne pas les considérer dans l'identification des caractéristiques. Nous avons ainsi obtenu 30 formes.

Procédure du tri par cartes et données récoltées

Après une première analyse décrite ci-dessus, 8 des 12 participants ont réalisé un tri par carte du vocabulaire employé par tous les participants lors des entretiens. Cette session s'est déroulée la semaine après la fin des entretiens. Le tri par cartes a été proposé à partir des 30 mots qualifiant les caractéristiques tactiles. Un tri par carte en ligne a été conçu avec l'outil *optimal workshop* [24]. La consigne donnée aux participants a été de regrouper les mots qui avaient la même signification pour eux et de nommer la catégorie obtenue. Aucune autre contrainte sur le classement n'a été posée. Deux catégories étaient également définies pour tous, nommées « Ne se rapporte pas au toucher » et « Caractéristiques dont je ne connais pas le sens ». Tous les mots devaient être classés mais il était possible de créer un groupe avec un seul mot et il était possible de créer autant de groupes que souhaité. Les huit participants ont réalisé le classement seuls, en ligne, sans contrainte de temps et sans échange entre eux. Ils ont réalisé le tri en 17min 46s en moyenne (entre 02min 45s et 19min 38s).

Pour chaque participant, nous avons récolté le temps de l'activité et les groupes constitués. Un groupe créé est composé de l'ensemble des mots regroupés et du titre donné au groupe par le participant.

Bien que les groupes « Ne se rapporte pas au toucher » et « Caractéristiques dont je ne connais pas le sens » ont été utilisés respectivement par 5 et 3 participants, nous n'avons trouvé aucun consensus sur les mots contenus. Les 30 mots se rapportent donc bien au toucher.

En plus de ces deux groupes, l'ensemble des participants a créé en tout 61 groupes : entre 3 et 16 groupes par participant (valeur médiane pour chaque participant = 8). C'est à partir de ces groupes que nous définissons les caractéristiques de notre espace subjectif de description de l'information tactile.

Résultats

Évaluation de H1.1

H1.1 est l'hypothèse selon laquelle les caractéristiques identifiées dans la littérature pour les textures ne sont pas suffisantes pour caractériser les textures considérées pour les variateurs linéaires. Pour y répondre, nous avons commencé l'analyse à partir des regroupements fait dans le tri par carte des 30 termes pouvant qualifier les échantillons. En raison du petit nombre de participants (12), nous avons utilisé une Best Merge Method (BMM). Pour caractériser les échantillons, nous retenons les 21 caractéristiques formées par les groupes pour lesquels 75% des participants (6/8) sont d'accord. Par exemple, « Dur » et « Rigide » font toujours partie de la même catégorie. Pour cette catégorie, les participants sont 100% d'accord.

Nous obtenons 21 caractéristiques : avec des aspérités, avec des renforcements, avec un relief linéaire (issu du regroupement de nervuré, rainuré, strié), creusé, dense, doux (douceur, doux, léger), expansé, fibreux (filaire, maillé, fibreux, tramé), froid (froid, glacé), granuleux, lisse, minéral, mou, mousseux (mousseux et moelleux), organique, plat, plissé, rigide (dur, dureté et rigide), rugueux (rugosité et rugueux), souple, et synthétique.

Sept des caractéristiques correspondent à celles observées dans l'état de l'art (Doux, Froid, Lisse, Mou, Rigide, Rugueux, Souple). Les 13 autres traduisent des caractéristiques que nous n'avons pas trouvées dans l'état de l'art. H1.1 est donc vraie.

Évaluation de H1.2

H1.2 est l'hypothèse selon laquelle il existe des relations (opposition, raffinement, etc.) entre certaines caractéristiques. Pour y répondre, nous étudions l'organisation des caractéristiques dans les classements des participants présentés en annexe. Sept des douze participants ont organisé les échantillons en suivant un ou deux axes. Ces axes opposent des caractéristiques le long d'une dimension : Rugueux – Doux (2 fois), Rugueux – Lisse (1 fois), Dur – Mou (2 fois), Doux – Dur (1 fois), Avec aspérités – pas d'aspérités (1 fois).

H1.2 est donc vraie. Par contre, nous manquons d'éléments pour organiser les autres caractéristiques. De plus, apparaissent chez deux participants des classifications en fonction du ressenti affectif. Ainsi, P1 et P11 classent les échantillons respectivement selon un axe « J'aime – je n'aime pas » et un axe « Textures rassurantes/connues/agréables – moins agréables ».

Évaluation de H1.3

H1.3 est l'hypothèse selon laquelle l'importance des caractéristiques tactiles est variable d'un participant à l'autre. En moyenne, les participants ont utilisé 5,58 (avec un écart type de 3,23) des 21 caractéristiques pour décrire les échantillons et chacune des caractéristiques a été utilisée par en moyenne 3,19 participants (avec un écart type de 3,01). Ces chiffres montrent la variété des caractéristiques employées par les participants et que chaque participant n'utilise qu'un nombre limité de celles-ci pour caractériser les échantillons.

La diversité de l'utilisation des caractéristiques met tout de même en évidence que certaines d'entre elles sont plus identifiées que d'autres. « Doux » est la caractéristique la plus utilisée (10/12 participants). « Lisse » et « Rugueux » sont ensuite les plus représentées (8/12 participants). Enfin, « Fibreux » et « Rigide » sont les dernières caractéristiques utilisées par plus de la moitié des participants (7/12 participants).

Le nombre de caractéristiques utilisées est également variable d'un participant à l'autre. P5 est le participant qui a utilisé le plus grand nombre de caractéristiques (12/21).

Un participant, même lorsqu'il utilise plusieurs caractéristiques, ne les utilise pas avec la même fréquence. P3 par exemple, bien qu'utilisant 9 caractéristiques sur 21, utilise deux de celles-ci autant de fois que toutes les autres réunies (36 occurrences de « Avec des aspérités », 23 de « Doux »).

Le peu d'utilisation des caractéristiques peut s'expliquer par le fait que le classement était laissé libre, et que chacun a utilisé un nombre limité de caractéristiques. Ainsi, P6, par exemple, semble n'avoir considéré qu'une seule dimension pour son classement, celle-ci étant définie entre deux caractéristiques uniquement. Les caractéristiques utilisées sont donc les plus importantes pour chaque participant, et sont différentes d'un individu à l'autre. Bien que les participants aient identifié plusieurs caractéristiques (P3 et P4), certaines caractéristiques sont plus importantes que d'autres car elles servent à classer les échantillons : P3 a classé selon Rigide – Doux et Rugueux – Lisse, alors que P4 a classé selon Fin – Gros. H1.3 est donc vraie.

Discussion

Nous avons montré que les espaces de caractérisation existants n'étaient pas suffisants pour caractériser les échantillons (H1.1). Bien que certaines caractéristiques devront être davantage étudiées, car elles pourraient éventuellement se rapporter à l'état de l'art (par exemple,

Organique et *moist*), il semble que d'autres soient bien nouvelles, comme Mousseux. Bien que notre étude montre des relations d'oppositions entre certaines caractéristiques (H1.2), elle ne contient pas encore assez de données pour pouvoir organiser ces caractéristiques dans un espace de conception complet. Ce premier résultat appelle davantage de recherche sur les textures. De nouveaux échantillons, proposant des textures épaisses, humides, légères, mousseuses, organiques ou plates, devraient nous aider à vérifier une nouvelle fois H1.1 et mieux répondre à H1.2.

Les entretiens, et les classements des textures en résultant, ont montré que chaque participant a mis l'accent sur des caractéristiques tactiles différentes des autres participants (H1.3). Ce résultat montre, qu'au-delà de la perception objective d'une texture, telle qu'elle est étudiée dans la littérature ([7] par exemple), il est nécessaire de continuer à étudier l'appréhension qualitative de l'information tactile.

INFORMATION TACTILE ET VARIATEURS LINÉAIRES

Les variateurs linéaires sont utilisés pour saisir des valeurs numériques contenues entre deux bornes. Pour ces dispositifs d'interaction, un retour haptique et tactile peut fournir un retour d'information sur l'évolution de la valeur (comme l'augmentation/la diminution ou le fait qu'une valeur particulière est atteinte). Les variateurs linéaires peuvent également donner des informations sur la valeur *en fonction du contexte*. Par exemple, sur un téléphone mobile, le variateur qui permet de modifier le volume du son devient rouge lorsque le volume est trop élevé et qu'un casque audio est branché.

L'objectif de cette deuxième expérience est d'étudier comment des changements de caractéristiques tactiles le long du variateur peuvent transmettre ces informations. Plus précisément, nous cherchons à identifier si certaines caractéristiques tactiles identifiées lors de la première expérimentation peuvent être utilisées pour fournir un retour à l'utilisateur du variateur linéaire pour :

- Informer qu'une variable a augmenté/diminué ;
- Informer qu'une variable a atteint une valeur cible ;
- Inciter à arrêter l'ajustement de la variable ;
- Inciter à poursuivre l'ajustement.

Deux hypothèses sont étudiées :

H2.1 : une caractéristique tactile est liée à la variable manipulée.

H2.2 : l'évolution de caractéristique tactile est liée à l'évolution de la valeur de la variable (augmentation/diminution et valeur cible atteinte).

H2.3 : lorsqu'il y a une incitation, l'évolution de caractéristique tactile est liée à celle-ci.

Participants

Nous avons recruté 12 participants (7 femmes et 5 hommes) n'ayant pas participé à l'étude précédente, et ayant entre 20 et 25 ans ($M = 21,5$ ans, écart-type = 1,44). Tous sont étudiants en arts appliqués et francophones. Ces étudiants ont une formation qui leur permet de ne pas avoir de difficultés avec le vocabulaire utilisé pour nommer les caractéristiques tactiles.

Matériel

Une représentation graphique de variateurs linéaires était imprimée sur du papier. Les 35 échantillons (numérotés) et l'ensemble des caractéristiques (sous la forme d'un tableau) issus de la première expérimentation étaient à disposition des participants. Pour explorer les quatre types de retours nous avons conçu les scénarios suivants :

S1 - Informer qu'une variable a augmenté/diminué : « Tu augmentes la luminosité de ton téléphone pour voir une photo particulièrement sombre. La photo suivante est très claire, tu te ravises et choisis une moins forte luminosité. »

S2 - Informer qu'une variable a atteint une valeur cible : « Tu es sur une longue page web et tu ne veux lire que les passages qui contiennent le mot "grenouille", tu parcours la page pour passer d'un de ces passages à l'autre. »

S3 - Inciter à arrêter l'ajustement de la variable : « Tu augmentes progressivement le son de ton téléphone jusqu'à ce que le variateur t'indique la valeur au-delà de laquelle écouter de la musique peut endommager ton audition (volume trop élevé). Tu montes le son tout de même jusqu'au maximum. »

S4 - Inciter à poursuivre l'ajustement : « Tu veux effectuer un don de 10€ à une association pour la protection des animaux, on t'incite à donner 20€. »

Procédure

Chaque participant travaille sur les quatre scénarios qui lui sont présentés séquentiellement. Pour chaque scénario, l'expérimentatrice demande au participant de positionner une séquence d'échantillons de matériau sur la représentation graphique d'un variateur. Le/la participant.e indique ses choix en notant le numéro de l'échantillon et en indiquant l'espace que cette texture devrait occuper.

Ensuite, pour chaque scénario, l'expérimentatrice demande d'associer une des caractéristiques issues de l'expérience précédente aux échantillons utilisées, et d'expliquer ces choix. Pour cela deux questions étaient systématiquement posées : « Pourquoi ce choix de succession d'échantillons pour ce scénario ? » et « En quoi cette succession d'échantillons permet-elle d'exprimer l'augmentation/le passage d'un passage de texte avec le mot « grenouille » à l'autre/le dépassement d'une valeur maximale/l'incitation à une valeur supérieure ? »

Les douze participants ont été répartis en quatre groupes de 3 participants. Chaque groupe a un ordre de scénarios différents. Cet ordre est la conséquence de la permutation des deux premiers (les deux scénarios portant uniquement sur une information sur la valeur de la variable) et la permutation des deux seconds (les deux scénarios qui impliquent une incitation). Ces permutations ont été faites pour prendre en compte un éventuel effet sur la première production de la découverte des consignes et pour prendre en compte le niveau de difficulté croissant entre les scénarios avec uniquement un retour tactile sur la valeur et ceux avec en plus une incitation.

Données collectées et sélectionnées

Pour chaque participant et chacun des scénarios, nous avons collecté les représentations graphiques des variateurs linéaires avec les numéros des échantillons et l'entretien enregistré et retranscrit. Lorsqu'un participant n'a pas compris la consigne (1 pour S2 et 1 pour S4), nous avons supprimé les données correspondantes pour l'analyse.

Résultats

L'analyse des caractéristiques positionnées le long des variateurs linéaires pour transmettre l'information a permis d'identifier la répartition de l'utilisation de chaque caractéristique pour chaque scénario (Figures 4 et 5). Pour les scénarios 1, 3, et 4 (Figure 4), nous avons reporté dans un tableau de taille 12×60 les caractéristiques choisies par les 12 participants pour chaque texture le long d'un variateur de longueur 60 (plus petit multiple commun entre les nombres de caractéristiques choisies par les participants). La Figure 4 montre la distribution des caractéristiques le long d'un variateur de longueur 60 allant du plus sombre au plus lumineux (à gauche), du son le plus faible au plus fort (au centre) et de peu à beaucoup d'argent (à droite). Pour le scénario 2 (Figure 5), nous avons reporté dans un tableau les caractéristiques utilisées pour représenter les passages du texte contenant et ne contenant pas le mot « grenouille ». Les caractéristiques

présentées sur les Figures 4 et 5 sont uniquement celles utilisées par au moins un participant : 15/21 pour S1, 13/21 pour S2, 16/21 pour S3, 16/21 pour S4.

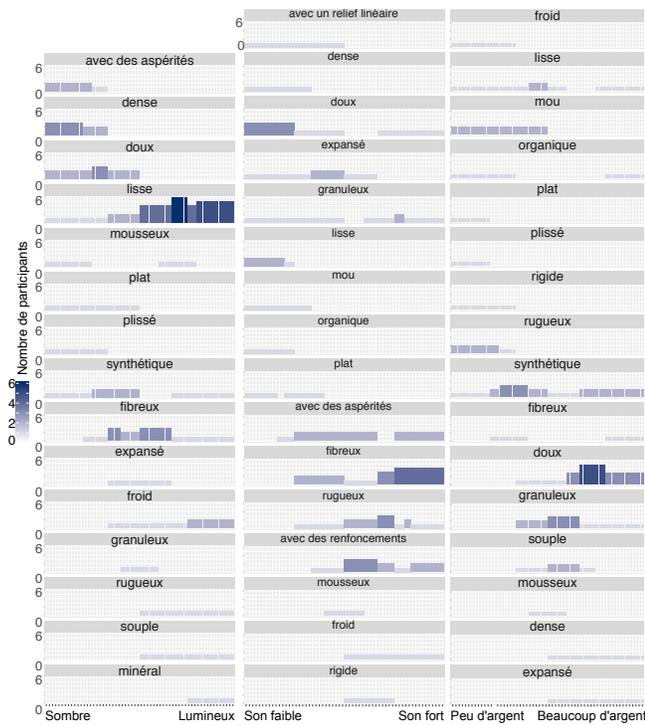


Figure 4 : Nombre de participant.e.s utilisant les caractéristiques en chaque point d'un variateur linéaire allant de sombre à lumineux pour le scénario 1 (à gauche), d'un son faible à fort pour le scénario 3 (au centre), et de peu à beaucoup d'argent pour le scénario 4 (à droite).

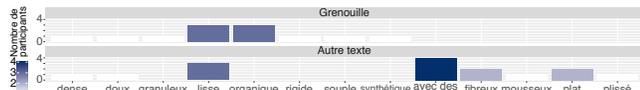


Figure 5 : Nombre de participant.e.s utilisant les caractéristiques sur un variateur linéaire informant de la présence/absence du mot « grenouille » dans le texte pour le scénario 2.

Pour le scénario 1, 10 participants sur 12 semblent lier leur choix de l'échantillon à la variable *luminosité*. Cette association passe parfois par un autre concept (comme une photo). Par exemple, P3 parle du « grain de l'obscurité comme sur les photos ». Les deux autres participants ont choisi leur texture par rapport à un jugement sur la valeur de la variable. P5, par exemple, a choisi une texture lisse pour passer vite sur les valeurs de luminosité qu'il juge non souhaitable (trop sombre).

Pour le scénario 2, les raisons du choix sont moins homogènes. 5/11 (un participant n'a pas compris la consigne) ont lié le choix de la texture à la grenouille, c'est-à-dire à la sémantique du mot recherché. 4/11 ont généralisé en définissant une caractéristique pour les

passages de texte recherchés et une autre pour les autres passages de texte. Un participant a expliqué son choix par la métaphore du saut. Et enfin, un dernier a combiné la métaphore du saut avec une texture pour l'atterrissage liée à la « grenouille ».

Pour le scénario 3, 5 des 12 participants ne s'appuient que sur l'incitation à arrêter l'ajustement, c'est-à-dire qu'ils ne font aucune référence à la variable *son* dans leur explication. La borne entre ce qui est déconseillé et le reste est identifiée par une « barrière » (un échantillon mis pour symboliser une barrière) par 4 participants sur 12. Les autres (8/12) identifient les valeurs déconseillées par des échantillons jugées « désagréables ».

Pour le scénario 4, 7/11 participants n'expliquent leurs choix d'échantillons que par l'incitation. 3 des 4 autres expliquent leurs choix à la fois par l'incitation et par une variable. Les variables sont l'argent (tel que donné dans le scénario), le luxe et l'animal (raison d'être du don). P10 a entièrement lié le choix de la texture à la cause animale (en occultant l'argent). L'explication du choix de l'échantillon pour l'incitation a alors reposé sur la métaphore d'animaux en meilleure santé (avec un pelage plus dense) au lieu d'une somme supérieure.

Évaluation de H2.1 : une caractéristique tactile est liée à la variable manipulée

H2.1 a pour but d'évaluer s'il existe un lien pour les participants entre la caractéristique de la texture et la variable manipulée. Les variables manipulées sont la luminosité (pour S1), passage d'un texte (pour S2), le volume (pour S3), de l'argent (pour S4). D'après les justifications des choix de texture, on peut observer des différences en fonction des scénarios, en particulier entre les scénarios avec et sans incitations. Pour les scénarios 1 et 2 (sans incitation) les variables sont présentes dans les justifications des textures (dans respectivement 10/12 et 9/11 explications) alors que pour les scénarios 3 et 4 la proportion de participants expliquant leur choix en mentionnant la variable est moindre (respectivement 7/12 et 4/12). Cette observation peut être due à la quantité d'information qu'il est possible de représenter par le retour tactile. Lorsqu'il n'y a pas d'incitation (S1 et S2), le retour tactile ne porte que sur la valeur de la variable.

Il semble également que la nature de la variable en elle-même (et/ou le contexte exprimé dans le scénario) ait un impact sur la représentation de la variable dans le choix des textures. Ainsi, même si les scénarios 3 et 4 portent tous les deux sur l'incitation (positive et négative), la variable « son » du scénario 3 semble être plus prise en

compte dans le choix de la texture que la variable « argent » du scénario 4.

Les données produites par cette expérimentation ne nous permettent d'apporter qu'une réponse partielle à H2.1. Le lien entre la variable et la texture n'est pas inexistant mais il semble dépendre de la nature de la variable et du contexte d'utilisation.

Évaluation de H2.2 : l'évolution de caractéristique tactile est liée à l'évolution de la valeur de la variable

L'hypothèse H2.2 a pour but d'évaluer s'il y a un lien entre la texture et l'évolution de la variable (augmentation/diminution et valeur cible atteinte). Pour évaluer cette hypothèse, nous allons considérer les données produites pour les scénarios 1 et 2 uniquement.

Pour le scénario 1 (Figure 4, gauche), les participants ont imaginé un variateur linéaire tactile pour régler la luminosité passant d'une texture *dense* à une texture *lisse*, en passant par des textures *douce* et *fibreuse*. Par exemple P2 et P3 utilisent la même métaphore pour l'extrême lumineux du variateur : « La forte luminosité je l'associe à quelque chose de plus lisse, plus propre » et « la lumière c'est lisse, c'est clean ».

Pour le scénario 2 (Figure 5), l'évolution de la variable à représenter est : la valeur est recherchée ou elle ne l'est pas. La Figure 5 présente l'utilisation des caractéristiques pour marquer le long du variateur les passages du texte contenant le mot « grenouille », et ceux ne contenant pas le mot « grenouille ». Les choix de la caractéristique ont été largement influencés par la sémantique du passage de texte à rechercher (la grenouille). Comme P10 le dit « les batraciens ils ont [la peau] lisse un peu [...] comme ça ».

Les caractéristiques qui ont justifié le choix de certains échantillons pour les passages ne contenant pas le mot « grenouille », sont principalement « avec des aspérités », « lisse », « fibreux » et « plat ». Deux approches ont dirigé ces choix. La première consiste à opposer le choix avec ce qui a été choisi pour caractériser les passages avec « grenouille » (« en fait j'ai pris l'autre la 27 parce que ça contraste beaucoup [avec le lisse de la Grenouille] » P10). La seconde est l'idée de passer rapidement sur des choses qui n'ont pas d'intérêt pour l'utilisateur. Comme P1 le dit « [lisse] c'est comme si on faisait un saut d'un passage à l'autre. [...] ça doit glisser ». C'est pourquoi sur la Figure 5 on peut observer que *lisse* peut convenir à la fois pour les passages contenant le mot « grenouille » et ceux ne le contenant pas. Pour éviter l'ambiguïté, il semble préférable d'utiliser une texture *organique* pour signifier

un passage contenant le mot « grenouille » et une texture *avec des aspérités* dans le cas contraire.

D'après ces résultats, il semble que la variation de la valeur des variables ait un impact sur la caractéristique tactile à choisir (H2.2 est vraie). Cependant celle-ci doit être définie en fonction de la variable elle-même.

Évaluation de H2.3 : lorsqu'il y a une incitation, l'évolution de caractéristique tactile est liée à celle-ci

L'hypothèse H2.3 a pour but d'évaluer si l'évolution de la texture est liée à l'incitation lorsqu'il y en a une sur la variable manipulée. Pour l'évaluation de cette hypothèse nous allons considérer les données issues des scénarios 3 et 4.

Sur la Figure 4 (au centre), on voit que nos participants ont imaginé un variateur linéaire tactile pour régler le son passant d'une texture *douce* à *fibreuse* en passant par une texture *avec des renforcements* et *rugueuse*. Les participants parlent « d'un son au début qui est doux » (P3) à un « truc qui est un peu piquant parce que tu es allé trop loin » (P1). La limite à ne pas dépasser pour le son est traduite en « obstacle » tactile qu'« on peut [...] passer », « mais on sent vraiment que ça change à cet endroit-là, c'est plus difficile de le passer » (P7), « on a du mal à traverser » (P8). « Après t'es là genre ah mon dieu et t'as juste envie d'enlever ton doigt » (P10, qui a conçu son variateur « du plus au moins agréable »).

Pour le scénario S4, la Figure 4 (droite) montre que nos participants ont imaginé un variateur linéaire tactile pour fixer le montant de la donation en passant d'une texture *molle* ou *rugueuse*, à *douce*, en passant par des textures *synthétique* et *granuleuse*. La première approche part d'une texture molle car « ton [...] point de départ [...] est un truc pas spécialement inconfortable vu que c'est déjà bien vu de donner » (P1) et « faire un don à une association [...] c'[est] un bon acte, donc je voulais quelque chose de mou, de confortable ». La deuxième approche est « l'incitation tactile [... qui] te chass[e] d'une zone [du variateur]. Par exemple le rugueux ... si tu sais que t'as moyen d'aller dans une zone plus douce, tu vas y aller » (P7). Les participants ensuite proposent que « c[est] de plus en plus doux » (P4).

Pour les scénarios S3 et S4 les explications des choix des échantillons font apparaître que l'incitation est exprimée par un niveau « d'agréable » de la texture. Ceci est particulièrement marqué pour S3 pour lequel 8 participants sur 12 l'ont exprimé dans leurs explications de l'incitation à arrêter l'augmentation du volume. Pour S4, 5/11 des participants ont également appliqué cette

valeur pour l'incitation. Cette différence peut être expliquée par le scénario. S4 proposait d'augmenter une action déjà jugée positivement par les participants (le don de 10€), ceux-ci ont exploré d'autres dimensions (éveil de la curiosité par exemple pour P12). Comme le montre la Figure 4 la définition de ce qui est agréable n'est toutefois pas unanime.

H2.3 est valide puisque l'incitation a un impact sur l'évolution de la texture. Cependant, cette évolution semble porter sur les caractéristiques permettant de rendre la texture de plus en plus agréable et non sur une caractéristique particulière.

Discussion

Nous remarquons que les participants ont largement utilisé des métaphores [8] pour la conception de leurs variateurs linéaires. Par exemple, une texture lisse dans le variateur rappelle la texture de la peau de la grenouille. De futures recherches pourraient étudier comment les variateurs linéaires pourraient exprimer des notions plus abstraites, comme le mot « patience » dans un texte, et si la conception serait aussi consensuelle dans ce cas.

Les résultats de ces travaux peuvent être d'ores et déjà utilisés pour la conception de variateurs linéaires tactiles pour régler la luminosité, le volume du son ou le montant d'une donation. Des travaux futurs devront étudier la généralisation à d'autres variables que la luminosité, le mot « grenouille », le volume du son et le montant d'une donation.

L'incitation a été souvent associée au niveau d'« agréable » d'un échantillon. Soufflet et ses collègues [31] ont mis en relation la perception haptique et hédonique de tissus : la douceur d'un tissu était corrélée avec la dimension hédonique d'un tissu. Il semble nécessaire pour la conception future du retour tactile le long des variateurs linéaires d'étudier d'avantage la dimension hédonique des caractéristiques tactiles.

CONCLUSION

Les variateurs linéaires sont omniprésents dans les interfaces du quotidien, qu'ils soient sur nos dispositifs mobiles ou dans les objets tels que la commande de la chaîne Hi-Fi. Leur retour d'information tactile est encore très limité. Afin d'informer la conception de leur information tactile dans le futur, nous avons présenté une étude qualitative montrant comment les utilisateurs appréhendent subjectivement les textures. Les résultats montrent que les caractéristiques décrivant les textures

identifiées dans la littérature ne sont pas suffisantes pour caractériser l'ensemble des possibilités pour les variateurs linéaires ; que certaines caractéristiques s'opposent ; et que l'importance des caractéristiques sont dépendantes des utilisateurs. Nous utilisons ces résultats pour informer la conception du retour d'information tactile de variateurs linéaires dans une seconde étude. Les participants y ont imaginé des variateurs linéaires tactiles pour régler la luminosité passant d'une texture *dense* à une texture *lisse*, en passant par des textures *douce* et *fibreuse* ; en alternant une texture *organique* pour signifier un passage contenant le mot « grenouille » avec une texture *avec des aspérités* dans le cas contraire ; pour régler le son en passant d'une texture *douce* à *fibreuse* en passant par une texture *avec des renforcements* et *rugueuse* ; et pour fixer le montant d'une donation en passant d'une texture *molle* ou *rugueuse*, à *douce*, en passant par des textures *synthétiques* et *granuleuses*.

Toutes ces conclusions sont limitées au nombre de participants à notre étude (12). Nous souhaitons continuer ce travail, tout d'abord, en répliquant ces résultats avec plus de participants.

Nous voudrions également mettre en relation les caractéristiques tactiles identifiées avec les émotions que les textures évoquent chez les utilisateurs. Les émotions ont été beaucoup évoquées lors des entretiens. Une mise en relation entre un espace complet de conception des textures du point de vue des utilisateurs, et des émotions que ses dimensions engendrent, permettrait de mettre des textures aux émotions négatives dans les intervalles non souhaités.

RÉFÉRENCES

- [1] Amberg, M., Giraud, F., Lemaire-Semail, B., Olivo, P., Casiez, G., and Roussel, N. Stimtac, a tactile input device with programmable friction. In Proc. of UIST '11, 7–8. ACM, 2011.
- [2] Douglas Atkinson, Pawel Orzechowski, Bruna Petreca, Nadia Bianchi-Berthouze, Penelope Watkins, Sharon Baurley, Stefano Padilla, and Mike Chantler. 2013. Tactile perceptions of digital textiles: a design research approach. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13). ACM, New York, NY, USA, 1669-1678. DOI: <https://doi.org/10.1145/2470654.2466221>
- [3] Olivier Bau, Ivan Poupyrev, Ali Israr, and Chris Harrison. 2010. TeslaTouch: electrovibration for touch surfaces. In Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '10). ACM, New York, NY, USA, 283-292. DOI: <https://doi.org/10.1145/1866029.1866074>
- [4] Konrad Baumann. 2001. User Interface Design of Electronic Appliances. CRC Press.
- [5] Edgar Berdahl and Alexandros Kontogeorgakopoulos. 2013. The FireFader: Simple, open-source, and reconfigurable haptic force feedback for musicians. The Computer Music Journal 37, 1: 23–34. http://doi.org/10.1162/COMJ_a_00166

- [6] Biet, M., Casiez, G., Giraud, F., and Lemaire-Semail, B. Discrimination of virtual square gratings by dynamic touch on friction based tactile displays. In Proc. of Haptics '08, 41–48. IEEE, 2008.
- [7] C J Cascio and K Sathian. 2001. Temporal cues contribute to tactile perception of roughness. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 21, 14: 5289–5296.
- [8] Fishkin, Kenneth. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*. 8. 347-358. 10.1007/s00779-004-0297-4.
- [9] Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, and Hiroshi Ishii. 2013. inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '13). ACM, New York, NY, USA, 417-426. DOI: <https://doi.org/10.1145/2501988.2502032>
- [10] Aakar Gupta, Thomas Pietrzak, Nicolas Roussel, and Ravin Balakrishnan. 2016. Direct Manipulation in Tactile Displays. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, 3683-3693. DOI: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858161>
- [11] M Hollins and S R Risner. 2000. Evidence for the duplex theory of tactile texture perception. *Perception & psychophysics* 62, 4: 695–705.
- [12] Iramuteq <http://www.iramuteq.org>
- [13] Sungjune Jang, Lawrence H. Kim, Kesler Tanner, Hiroshi Ishii, and Sean Follmer. 2016. Haptic Edge Display for Mobile Tactile Interaction. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, 3706-3716. DOI: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858264>
- [14] S J Lederman and R L Klatzky. 1987. Hand movements: a window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology* 19, 3: 342–368.
- [15] Kelly, G. A. (1955). *The psychology of personal constructs*, 2 volumes. New York: Norton
- [16] Klatzky, R L; Lederman, S J and Reed, C L (1987). There's more to touch than meets the eye: the salience of object attributes for haptics with and without vision. *Journal of Experimental Psychology: General* 116: 356-369.
- [17] Matthijs Kwak, Kasper Hornbæk, Panos Markopoulos, and Miguel Bruns Alonso. 2014. The design space of shape-changing interfaces: a repertory grid study. In Proceedings of the 2014 conference on Designing interactive systems (DIS '14). ACM, New York, NY, USA, 181-190. DOI: <https://doi.org/10.1145/2598510.2598573>
- [18] Levesque, V., Oram, L., MacLean, K., Cockburn, A., Marchuk, N. D., Johnson, D., Colgate, J. E., and Peshkin, M. A. Enhancing physicality in touch interaction with programmable friction. In Proc. of CHI '11, 2481–2490. ACM, 2011.
- [19] Lars Lischke, Paweł W. Woźniak, Sven Mayer, Andreas Preikschat, and Morten Fjeld. 2017. Using Variable Movement Resistance Sliders for Remote Discrete Input. In Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '17). ACM, New York, NY, USA, 116-125. DOI: <https://doi.org/10.1145/3132272.3134135>
- [20] Joseph Luk, Jerome Pasquero, Shannon Little, Karon MacLean, Vincent Levesque, and Vincent Hayward. 2006. A role for haptics in mobile interaction: initial design using a handheld tactile display prototype. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06), Rebecca Grinter, Thomas Rodden, Paul Aoki, Ed Cutrell, Robin Jeffries, and Gary Olson (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 171-180. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1124772.1124800>
- [21] Karon E. MacLean, Scott S. Snibbe, and Golan Levin. 2000. Tagged handles: merging discrete and continuous manual control. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '00). ACM, New York, NY, USA, 225-232. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/332040.332435>
- [22] Nawaz, Ather. 2012. A Comparison of Card-sorting Analysis Methods, in Proceedings of the 10th Asia Pacific Conference on Computer-Human Interaction, pp. 583-592
- [23] Shogo Okamoto, Hikaru Nagano, and Yoji Yamada. (2013). Psychophysical Dimensions of Tactile Perception of Textures. *IEEE Transactions on Haptics*, 6(1), 81–93. DOI: <https://doi.org/10.1109/toh.2012.32>
- [24] Optimal Workshop <https://www.optimalworkshop.com/>
- [25] Potier, L., Gapenne, O., Liu, X., and Aubert, D. The effect of the direction of a gradient on haptic pointing in a 2d virtual environment. In Proc. of IADIS Interfaces and HCI '11, 2011.
- [26] Ludovic Potier, Thomas Pietrzak, Géry Casiez, and Nicolas Roussel. 2012. Méthodologie de conception de textures pour les interfaces tactiles à frottement programmable. In Proceedings of the 2012 Conference on Ergonomie et Interaction homme-machine (ErgoIHM '12). ACM, New York, NY, USA, Pages 121, 8 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/2652574.2653420>
- [27] Ludovic Potier, Thomas Pietrzak, Géry Casiez, and Nicolas Roussel. 2016. Designing tactile patterns with programmable friction. In Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM '16). ACM, New York, NY, USA, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1145/3004107.3004110>
- [28] A. R. Rao and G. L. Lohse, "Towards a texture naming system: Identifying relevant dimensions of texture," Proceedings Visualization '93, San Jose, CA, USA, 1993, pp. 220-227. DOI : <https://doi.org/10.1109/VISUAL.1993.398872>
- [29] Simon Robinson, Céline Coutrix, Jennifer Pearson, Juan Rosso, Matheus Fernandes Torquato, Laurence Nigay, and Matt Jones. 2016. Emergeables: Deformable Displays for Continuous Eyes-Free Mobile Interaction. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, 3793-3805. DOI: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858097>
- [30] Sensotact, https://www.imt.fr/wp-content/uploads/2016/04/1_PASSARO.pdf
- [31] Ivanne Soufflet, Maurice Calonnier, Catherine Dacremont, A comparison between industrial experts' and novices' haptic perceptual organization: a tool to identify descriptors of the handle of fabrics, *Food Quality and Preference*, Volume 15, Issues 7–8, 2004, Pages 689-699, ISSN 0950-3293, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.03.005>
- [32] M. Strong, Robert & E. Troxel, Donald. (1970). An Electrotactile Display. *Man-Machine Systems*. IEEE Transactions on. 11. 72 - 79. DOI : <http://doi.org/10.1109/TMMS.1970.299965>
- [33] Tactile Labs, 2019 <http://tactilelabs.com/products/haptics/latero-tactile-display/>
- [34] John Tiab and Kasper Hornbæk. 2016. Understanding Affordance, System State, and Feedback in Shape-Changing Buttons. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, 2752-2763. DOI: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858350>
- [35] Jessica Tsimeris, Duncan Stevenson, Matt Adcock, Tom Gedeon, and Michael Broughton. 2013. User created tangible controls using ForceForm: a dynamically deformable interactive surface. In Proceedings of the adjunct publication of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '13 Adjunct). ACM, New York, NY, USA, 95-96. DOI: <https://doi.org/10.1145/2508468.2514727>
- [36] Marynel Vázquez, Eric Brockmeyer, Ruta Desai, Chris Harrison, and Scott E. Hudson. 2015. 3D Printing Pneumatic Device Controls with Variable Activation Force Capabilities. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15). ACM, New York, NY, USA, 1295-1304. DOI: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702569>