



Revue et Perspectives du Toucher Social en IHM

Marc Teyssier, Gilles Bailly, Éric Lecolinet, Catherine Pelachaud

► To cite this version:

Marc Teyssier, Gilles Bailly, Éric Lecolinet, Catherine Pelachaud. Revue et Perspectives du Toucher Social en IHM. 29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, AFIHM, Aug 2017, Poitiers, France. 12 p., 10.1145/3132129.3132135 . hal-01578496

HAL Id: hal-01578496

<https://hal.science/hal-01578496>

Submitted on 29 Aug 2017

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.

Revue et Perspectives du Toucher Social en IHM

Survey and Perspectives of Social Touch in HCI

Marc Teyssier

Université Paris Saclay, LTCI, CNRS, Telecom ParisTech
Paris, France
marc.teyssier@telecom-paristech.fr

Éric Lecolinet

Université Paris Saclay, LTCI, CNRS, Telecom ParisTech
Paris, France
eric.lecolinet@telecom-paristech.fr

Gilles Bailly

Sorbonne Universités, UPMC, CNRS, ISIR
Paris, France
gilles.bailly@upmc.fr

Catherine Pelachaud

Sorbonne Universités, UPMC, CNRS, ISIR
Paris, France
catherine.pelachaud@upmc.fr

ABSTRACT

Touch is one of the primary channel of non-verbal communication. It is used to convey emotions and to establish bounds between people. Its use has already been considered in HCI to interact with devices, but it has rarely been used for direct emotional communication between individuals. This article presents a literature review of social touch in human-computer interaction. Based at the cross-section of psychology, HCI, emotions and haptics research communities, we first review the role and importance of social touch for communicating emotions. We then discuss existing and emerging technologies to perform social touch and finally we present new perspectives for interfaces in HCI.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **Interaction paradigms**; *Human computer interaction (HCI)*;

KEYWORDS

Social Touch, haptics, tactile feedback, emotional design, non-verbal communication

RÉSUMÉ

Le toucher est l'un des principaux canaux intervenant dans la communication non verbale. Il permet de transmettre des émotions et de renforcer les liens affectifs entre les personnes. Son utilisation a déjà été envisagée en Interaction Homme-Machine comme un moyen d'interaction avec des dispositifs, mais rarement pour une communication émotionnelle directe entre individus. Cet article présente un état de l'art du toucher social en IHM. Considérant les travaux en psychologie, en IHM, en haptique et de informatique affective,

nous expliquons en premier lieu le rôle et l'importance du toucher social dans la communication et la transmission des émotions. Nous évoquons ensuite les technologies existantes et émergentes pour effectuer un toucher social et enfin nous présentons de nouvelles perspectives pour les interfaces en IHM.

MOTS-CLEFS

Toucher social, modalité haptique, retour tactile, émotions, communication non-verbale

1 INTRODUCTION

Le terme «toucher social» caractérise ce que le cerveau fait des stimulations cutanées dans le but de servir la communication sociale, en tenant compte des expériences antérieures, des conventions sociales, du contexte et de l'objet ou de la personne fournissant un contact [97]. Bien que, généralement, le toucher social entre individus soit moins fréquent que d'autres formes de communication sociale (par exemple, un sourire), il joue un rôle important dans l'interaction humain-humain [26, 31]. Par exemple, un humain peut communiquer son état affectif en touchant quelqu'un d'autre. Cette communication non-verbale peut être à la fois intime et effectuée sans qu'un observateur étranger ne le remarque.

Le toucher social est une sous-catégorie de la communication interpersonnelle médiée qui utilise le toucher pour transmettre des émotions. C'est également un domaine de recherche multidisciplinaire à la croisée de la physiologie, des technologies haptiques, de l'interaction sociale ou de l'Interaction Homme-Machine. Dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine (IHM), le toucher social a reçu encore peu d'attention [45, 97], probablement parce qu'il s'appuie sur la modalité tactile, laquelle a été moins étudiée que la modalité visuelle ou audio. Par exemple, nos smartphones stimulent davantage la vue et l'audition que le toucher. Ils disposent de vibreurs pour la génération tactile, mais l'aspect social ou émotionnel transmis par celui-ci reste limité. Il semble pourtant intéressant d'exploiter ce canal de communication pour la conception d'interfaces. Récemment, certains efforts ont été faits pour intégrer le toucher en informatique, notamment dans le domaine de l'Informatique Affective (ou *Affective Computing*), c'est-à-dire «l'informatique capable de reconnaître, d'exprimer, de synthétiser et modéliser les émotions humaines» [76], ou encore dans le domaine des agents conversationnels animés (ACAs). Ces recherches

© ACM, 2017. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution.
The definitive version was published in Actes de la 29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'17, August 28–September 1, 2017, Poitiers, France
<https://doi.org/10.1145/3132129.3132136>

montrent que le toucher social peut permettre de transmettre du sens affectif [107, 108] et de favoriser l'engagement dans le cadre de l'interaction avec des jouets robotisés.

Dans cet article, nous étudions le toucher social sous l'angle de l'Interaction Homme-Machine, c'est-à-dire que nous étudions comment nos dispositifs (smartphones, bracelets, informatique portée, etc.) peuvent ou pourront détecter et générer du toucher dans le but de transmettre des émotions et des sentiments. Pour cela, nous nous appuyons et étendons des travaux récents [34, 45, 97] qui étudient les dispositifs de communication interpersonnel utilisant le canal du toucher comme vecteur d'émotion.

Nous définissons dans un premier lieu le toucher social relativement aux aspects physiologiques, à la communication des émotions et son impact sur la communication. Nous présentons ensuite des dispositifs existants et émergents que nous organisons selon trois dimensions : les dispositifs pour détecter le toucher social, les dispositifs pour générer du toucher social et enfin les dispositifs capables de fermer la boucle interactionnelle, c'est-à-dire ceux capables de réagir par des stimulations haptiques en fonction d'un signal de toucher perçu. Enfin, nous mettons en évidence plusieurs directions de recherche autour du toucher social pour la communauté IHM.

Nos principales contributions sont (1) un état de l'art offrant une vision globale du phénomène du toucher social en croisant plusieurs domaines de recherche, qui montre en particulier comment des dispositifs récents et des technologies émergentes présentées dans des conférences comme CHI ou UIST peuvent être utilisés pour générer/capturer du toucher social ; (2) une discussion des enjeux majeurs du toucher social pour l'IHM et des pistes de recherche.

2 DÉFINITIONS

Le toucher est un sens efficace pour communiquer des émotions [41]. Il est probablement le premier sens que nous acquérons dans notre développement initial [27] pour découvrir et interagir avec le monde qui nous entoure. Il évolue ensuite au cours de notre vie pour devenir un canal de communication sociale. Le «toucher social» est la façon dont le cerveau traite les stimulations cutanées (sensations comme la pression, la vibration, la chaleur) en tenant compte de la personnalité, des expériences antérieures, des conventions sociales, du contexte, de l'objet ou de la personne fournissant le toucher, pour en tirer des sentiments et émotions [97]. Nous considérons que le toucher social se déroule entre deux ou plusieurs personnes, avec un individu *émetteur* et un autre *récepteur*. Le toucher étant proximal et nécessitant un contact physique proche ou direct pour le détecter, il a lieu dans un endroit co-localisé [40]. Le récepteur, passif, est celui qui perçoit le toucher effectué par l'émetteur. Le *toucher affectif* peut être défini comme un contact qui communique ou évoque l'émotion. Le toucher social est un concept qui dépend de deux facteurs principaux : la réalité du toucher en tant que signal biologique ainsi que les émotions et leur transmission pendant la communication sociale. Nous définissons ces phénomènes dans cette partie.

2.1 Le toucher

2.1.1 Les composantes du toucher.

Le toucher en tant que signal peut être divisé en une combinaison

de paramètres, certains directement liés à l'aspect physiologique du toucher tandis que d'autres sont liés à un aspect plus subjectif de l'expérience. L'**emplacement** du toucher, la **surface de contact** ainsi que la **durée** déterminent les facteurs intentionnels lors de la transmission du toucher. La **température** ou la **texture** sont des facteurs influant sur la perception du toucher, mais sont plus difficilement contrôlables par les émetteurs.

Un contact est perçu de manière différente selon l'intention et l'intensité (ce que l'utilisateur veut transmettre) et la valence (notion de plaisir ou de désagrément du toucher). Le toucher s'interprète en fonction de données issues de l'aspect perceptif (définissant le jugement sensoriel) et affectif de la peau lors du toucher intra et inter-personnel. Ces paramètres sont étroitement liés à la durée des actions.

- *Intensité* : Caractérise le degré de pression et la surface utilisée pour effectuer le toucher.
- *Vitesse et dynamisme* : Déplacement de la source de contact sur la peau. Un lien direct est observé entre la sensation de plaisance et la vitesse du toucher. La vitesse la plus plaisante pour communiquer le toucher plaisant est de 3cm/s [105].
- *Précipitation* : La précipitation lors d'un toucher, l'accélération ou la décélération que l'on perçoit influe sur la perception.
- *Action* : Les mouvements spécifiques utilisés pour effectuer le toucher, qui varient en fonction de l'émotion qui est transmise, du contexte et des individus.

2.1.2 La physiologie du toucher.

Le système haptique dépend d'un ensemble complexe de cellules nerveuses faisant partie du système somato-sensoriel (récepteurs sensoriels). La *perception kinesthésique*, englobe à la fois le *système kinesthésique* et le *système tactile* (également appelé *système cutané*) [63].

Le *système kinesthésique* est dédié à la perception du toucher et son interprétation : la localisation spatiale et la détection de la taille et du poids des objets. Il traite aussi la perception de la texture des objets (contours, rugosité, etc.) et est responsable de détecter l'intensité du toucher. Ce système est lié à la dimension *motivation-affective* qui traite principalement la valence (plaisir / désirabilité) du toucher.

Le *système tactile* correspond aux récepteurs tactiles situés principalement à la surface interne de la peau et supporte le traitement discriminatif. Ces récepteurs déterminent l'acuité sensorielle tactile (ou la résolution) et sont liés à la dimension *sensoriel-discriminative*. Il comprend trois types de cellules réceptrices :

- Les *thermorecepteurs* détectent les changements de température de la peau ;
- Les *mechanorecepteurs* ont la capacité de ressentir la pression, la vibration et la friction ;
- Les *nocicepteurs* sont dédiés à la détection de la douleur.

Les études récentes [72] établissant que le sens du toucher n'est pas uniquement un système discriminatif mais démontrent qu'il intervient également dans la relation affective et joue un rôle important dans des formes variées de communication sociale.

2.2 Les émotions dans la communication sociale

Afin de comprendre le toucher dans un contexte social, il est utile de considérer le rôle des émotions lors d'une communication entre individus. Une émotion est une réaction psychologique de changement d'état d'esprit qui a lieu suite à l'évaluation de stimulations externes ou internes. Parmi les classifications proposées pour décrire les émotions humaines, deux sont principalement utilisées dans le domaine du toucher émotionnel : La première considère six émotions de base [24] : la tristesse, la joie, la colère, la peur, le dégoût et la surprise. Ces émotions, correspondant à des comportements fondamentalement différents sont considérées comme innées. La seconde classification décrit les émotions selon un espace dimensionnel. Plusieurs modèles dimensionnels ont été développés [81, 85], mais le modèle de Russell [81] est fréquemment utilisé pour décrire les émotions liées au toucher. Celui-ci qui considère une émotion comme un point sur un diagramme possédant les axes "désagrément-plaisir" et "douceur-intensité".

La modification de l'état émotionnel (réaction psychologique) entraîne des réactions physiologiques et motrices comme par exemple des changements de l'expression du visage, du regard, de la prosodie, de la posture et du contact tactile. Ces réactions physiologiques et motrices peuvent alors être perçues par d'autres individus. Nous définissons alors la *communication non-verbale émotionnelle* comme étant la production visible de ces modifications physiologiques et motrices liées aux émotions. Plus généralement, la communication non-verbale est essentielle pour les interactions d'humain à humain et a un impact sur la qualité de la communication. Elle permet d'exprimer des émotions, transmettre des attitudes interpersonnelles comme la domination ou l'amicalité, présenter sa personnalité aux autres, accompagner une discussion, permettre les prises de paroles et se coordonner avec un partenaire [3].

2.3 Le Toucher social comme vecteur de communication

2.3.1 Évidence biologique du toucher social.

Il a récemment été montré au niveau physiologique que les émotions se transmettent aussi par les sensations ressenties sur la peau. Ce phénomène est dû à une liaison nerveuse spécifique liant les sensations tactiles au traitement des émotions. Ceci permet, par exemple, à certains contacts doux de réduire le niveau de stress [86] ou la fréquence cardiaque [7].

L'hypothèse du «toucher social» ("Social Touch Hypothesis") [72] considère le toucher social comme un domaine spécifique du toucher. Elle s'appuie sur la découverte de fibres tactiles spécifiques "C-Tactiles" (CT). Contrairement aux autres types de contacts qui sont traités par le cortex sensoriel (liaison *somatotopique*), ce système tactile spécifique est peu efficace pour traiter les aspects discriminatifs du toucher mais il est par contre adapté à la détection d'un toucher lent et doux. Il est lié, par une connexion neuronale directe et spécifique [68], à la partie affective et hédonique du système nerveux (cortex insulaire) où sont traitées les émotions. Ces fibres spécifiques sont présentes chez les humains et d'autres mammifères, à la racine des poils sur la peau non glabre et principalement sur les avant-bras. La dimension affective et les contacts socialement

pertinents dépendent d'une combinaison de facteurs tels que la la vitesse (1-10cm/s, 3cm/s étant la vitesse optimale) [62], la pression [25], la durée du toucher [41]. Selon l'hypothèse du "toucher affectif" [68] les fibres CT ont uniquement pour rôle de fournir des réponses émotionnelles et comportementales au contact de peau avec les autres individus.

2.3.2 La communication des émotions par le toucher.

Grâce aux fibres tactiles dédiées, le contact joue un rôle important dans la façon dont nous communiquons avec les autres. Hertenstein et al. [41, 42] ont montré que le contact tactile permet de transmettre différentes émotions. Cette étude visait à identifier les émotions perçues lorsqu'une personne est touchée par une autre personne (dont l'identité et le genre sont inconnus) sur le bras et sur le corps. Les résultats indiquent que les humains communiquent plusieurs émotions par le toucher et que celles liées à un comportement pro-social (amour, gratitude, sympathie) sont plus facilement reconnues et font intervenir un toucher dynamique agréable et doux. Les individus observant uniquement ces interactions tactiles peuvent aussi détecter les émotions correspondantes [41].

Morison et al. [52] définissent la peau comme un véritable "organe social" et répartissent les formes positives du toucher social en trois catégories. Le toucher «simple» implique un contact rapide et intentionnel lors d'une interaction sociale. Le toucher «prolongé» implique un contact plus long et mutuel entre les individus (par exemple un câlin). Enfin, le toucher «dynamique» implique un mouvement continu, souvent répétitif, d'un point à un autre (câlin). Ces types de toucher sur la main, l'avant-bras ou l'épaule d'autrui affectent le lien social et le comportement affiliatif. Toucher l'avant-bras est considéré comme plus plaisant et/ou plus acceptable socialement que toucher d'autres parties du corps ou la peau glabre (comme la paume de la main). Le toucher est très étroitement lié à la culture des individus l'effectuant. Les études sur lesquelles nous appuyons notre état de l'art considère une culture dite "occidentale".

2.3.3 Actions et types de gestes.

Des types de gestes différents sont utilisés pour transmettre de l'émotion par le toucher. Nous définissons dans ce contexte un geste comme une action de manipulation physique effectuée volontairement sur un autre individu, le plus souvent à l'aide de la main. En combinant les résultats des études de Hertenstein et al. [42] et de Huisman et al. [48], huit émotions pro-sociales sont interprétables par le toucher : la colère, la peur, le dégoût, la tristesse pour les émotions négatives et le bonheur, l'amour, la gratitude et la sympathie pour les positives. Nous pouvons extraire les gestes les plus fréquemment utilisés pour transmettre ces émotions (Table 1).

Ces gestes verbalisés explicitent une sensation dynamique du toucher sur la peau. Hertenstein et al. [41, 42] associent ces gestes à une durée et une intensité. La durée des gestes varie peu mais l'intensité est plus forte pour communiquer des émotions négatives telles que la colère ou la peur tandis que les émotions positives comme l'amour ou la gratitude correspondent à des gestes effectués avec une faible intensité (toucher doux). Les travaux de Essick et al. [25, 33] s'intéressent particulièrement à la dynamique du toucher. De l'analyse des touchers apparaissent plusieurs dimensions : la localisation sur le corps, la pression à la surface de la peau, la zone

de contact, la durée du toucher ainsi que la répétition et rythmicité. C'est la variation et la combinaison de ces paramètres ressentis qui peuvent moduler les émotions.

Table 1: Actions les plus fréquemment utilisées (ordonnées par fréquence) pour communiquer des émotions en fonction des données de [48] et [41].

Émotion	Colère	Peur	Dégoût	Tristesse
Action	Frapper	Trembler	Repousser	Frapper
	Presser	Presser	Lever	Presser
	Trembler	Secouer	Tapotter	Lever
Émotion	Bonheur	Amour	Gratitude	Sympathie
Action	Balancer	Caresser	Trembler	Tapotter
	Secouer	Serrer les doigts	Lever	Caresser
	Lever	Frotter	Presser	Frotter

2.4 Les effets du toucher social

Le toucher social est un mode de communication particulier lors des échanges interpersonnels [45]. Il possède deux rôles principaux : transmettre un état émotionnel ou provoquer une émotion ou un sentiment chez les autres. Lorsque deux personnes se touchent, le contact peut irriter ou, au contraire, être apprécié et même réconforter selon l'interprétation que nous en faisons. Généralement, le toucher social a lieu dans un contexte de confiance et son impact est positif. Il procure un bien-être physique et émotionnel en transmettant de la confiance et de la compassion et il facilite la formation et le maintien des liens sociaux et de l'attachement. Il sert aussi à transmettre des attitudes et changements de comportement et à renforcer l'impact verbal lors d'une discussion. Inversement, le manque de toucher social peut signaler une difficulté à communiquer ou une mauvaise gestion du stress [92].

Le contact interpersonnel permet également d'influencer l'opinion des autres. Une étude [28] a mis en évidence que, dans le cas d'un contact accidentel, les personnes touchées avaient des réactions affectives et évaluatives (jugement d'autrui) plus positives qu'en absence de contact. Une autre étude [43] a montré que les clients d'un bar étaient enclins à donner davantage de pourboire lorsqu'ils avaient été touchés par les serveurs (Midas touch) [21]. Le toucher semble donc particulièrement propice à la transmission d'émotions positives.

Cependant, la signification et l'interprétation du toucher dépend fortement de la nature des relations entre les individus, du contexte [66] et de leur culture [67]. Ceci inclut non seulement l'emplacement du toucher sur le corps, mais aussi l'identité de la personne qui touche et la manière dont nous percevons sa personnalité et les intentions que nous lui attribuons.

2.5 Domaines d'application du toucher social

L'aspect social du toucher intervenant dans de nombreux domaines, une meilleure compréhension de sa signification peut avoir de multiples intérêts. Par exemple, une meilleure maîtrise du toucher peut avoir un intérêt thérapeutique [10] en permettant aux infirmières de réduire le niveau de stress [86] ou la fréquence cardiaque [7]

chez les patients. Des interfaces d'apprentissage des différents types de toucher ont été développées [83] pour des enfants atteints de pathologies liées à l'autisme [19] afin de mieux maîtriser cette modalité qui peut leur poser problème. Le toucher a également été utilisé pour réduire l'anxiété ou la douleur [11] dans la réhabilitation orthopédique.

Actuellement, cette modalité est généralement absente ou très limitée dans le cadre de la communication médiée ou de l'interaction Homme-Machine. La conception de nouvelles interactions et/ou dispositifs permettrait d'enrichir la communication médiée en exploitant ce canal d'interaction pour transmettre des sentiments ou des émotions. Il en va de même pour les systèmes interagissant avec des entités virtuelles et les jeux vidéos, tout particulièrement dans le cas des systèmes immersifs en réalité virtuelle. Ces univers qui sont de plus en plus convaincants sur le plan visuel gagneraient à offrir une expérience multi-sensorielle en développant en particulier le sens du toucher.

3 LE TOUCHER SOCIAL DANS L'INTERACTION HOMME-MACHINE

La popularisation des dispositifs numériques a eu pour effet de rendre les interactions sociales médiatisées de plus en plus fréquentes. Les smartphones offrent un certain niveau de communication affective via la messagerie instantanée et les communications audio ou vidéo. La messagerie instantanée, moyen de communication numérique fréquemment utilisé, repose essentiellement sur le texte. Les signes de communication non verbale qui d'ordinaire accompagnent les conversations sont généralement absents dans ces applications. Ceci peut entraîner un certain nombre d'ambiguïtés [93] et explique sans doute l'usage fréquent d'émoticônes [79] lorsque ce type de média est utilisé.

L'ajout de la modalité tactile pourrait faciliter l'expression des sentiments et des émotions dans ce contexte et ainsi enrichir la communication sociale. Il en va de même pour l'interaction avec des entités virtuelles et les jeux vidéos. Ceci pose cependant plusieurs défis. En particulier :

- comment interpréter les signaux tactiles sociaux fournis par l'utilisateur à une machine ?
- comment générer des signaux tactiles sociaux du système vers l'utilisateur ?

3.1 Interprétation du toucher

Pour pouvoir interpréter correctement le toucher, un système numérique doit être capable : 1) de déterminer où le contact a été appliqué ; 2) d'évaluer le type de stimulation tactile et 3) d'évaluer la qualité affective du toucher [71]. Plusieurs méthodes ont été proposées pour détecter le toucher sur la peau ou sur un objet :

- Divers types de *capteurs électroniques* permettent de détecter la position du toucher (capteurs capacitifs [57, 61] ou grille de capteurs de distance), la pression (cellules piezo-électrique [2], capteurs résistifs) ou la température [74]. Ces capteurs sont fréquemment combinés pour améliorer la détection.
- La *détection par camera* utilise des algorithmes de vision par ordinateur sur les images de couleur [70, 91] et ou de

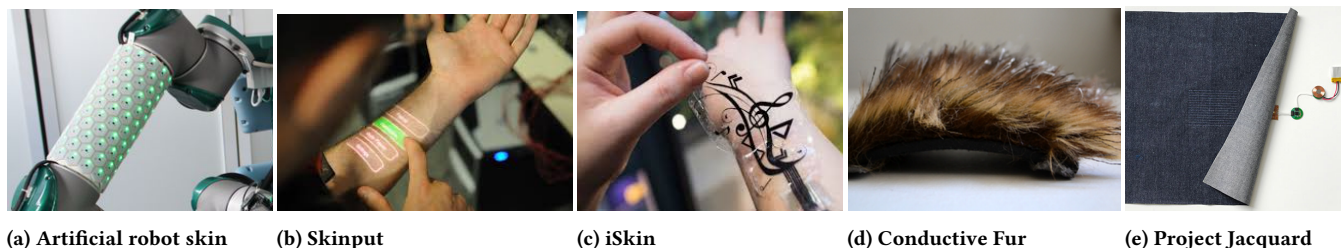


Figure 1: (a) *Artificial robot skin*, cellule robotique de détection de toucher ; (b) *Skinput*, un dispositif de détection de toucher sur le bras ; (c) *iSkin*, dispositif d'interaction en "seconde peau" ; (d) *Conductive Fur sensor*, un dispositif de détection de toucher intégré à de la fourrure ; (e) *Project Jacquard*, textile augmenté pour détecter le toucher.

profondeur[23, 32, 37]. Ce type de technologie permet d'éviter d'avoir à porter des dispositifs sur le corps mais nécessite un angle de vue et des conditions de luminosité appropriées.

- Les *capteurs bio-acoustiques* et *bio-électrique* [38] fonctionnent grâce à la dissipation acoustique produite à l'intérieur du corps. L'onde résultant du contact est propagée par le corps, puis détectée et traduite en coordonnées par le système. Skin-Track [110] utilise quand à lui la capacité conductrice du corps humain. Cependant, ces méthodes dédiés à l'avant-bras requièrent de gros dispositifs et un contact du doigt très franc contre la peau.
- Les *capteurs magnétiques* [15] sont intégrés à une surface fine collée à la peau [69]. Ils permettent de détecter la proximité mais ne permettent pas une mesure précise de la position.

Le toucher est souvent dynamique et les données issues de ces méthodes de capture doivent être analysées au cours du temps. Deux tendances principales émergent pour détecter efficacement le toucher. Des interfaces imposantes possédant un ou plusieurs capteurs précis pour interpréter au mieux le toucher, utilisés principalement dans la robotique et des dispositifs possédant des capteurs à moindre précision mais plus miniaturisés et portables.

3.1.1 Les capteurs pour les robots.

Les utilisateurs s'attendent à ce que les robots humanoïdes réagissent de manière plus ou moins similaire aux humains. Les robots comme Nao possèdent quelques capteurs de pression localisés à des endroits précis sur le robot : les bras, les jambes et la tête. Des cellules de peau robotique, ont aussi été développées pour simuler le sens tactile humain chez les robots [12, 30] (Figure 1 a). Essayant de s'approcher des $2m^2$, que constitue la surface de peau chez l'humain, ces cellules couvrent une surface plus large et sont reconfigurables spatialement. Elles intègrent des capteurs de proximité, de force, de température et d'accélération. L'interface KRISS [58] est un module de détection de toucher reproduisant un doigt humain (en taille et en forme). Ce module détecte la force et la position du contact. Des capteurs multi-modaux (pression, chaleur) peuvent également être intégrés au sein d'une surface imitant une main humaine [101]. La miniaturisation et l'amélioration de la précision de ces capteurs restent cependant un défi majeur pour pouvoir intégrer ces technologies dans des interfaces plus discrètes.

3.1.2 Les interfaces liées à l'homme.

Plusieurs technologies ont été utilisées pour détecter la position d'un toucher sur le corps humain. Skinput [38] (Figure 1 b), exploite

un capteur bioacoustique pour localiser la position du toucher sur l'avant-bras. Des matériaux flexibles ont également été utilisés pour créer une "deuxième peau" interactive capable de détecter du toucher grâce à des cellules capacitives [103, 104] (Figure 1 c). Des dispositifs de ce type ont également été proposés pour équiper des objets de mode et de vie de tous les jours [56].

Une autre possibilité consiste à recourir à des textiles connectés, comme par exemple le projet Jacquard [77] (Figure 1-e). Ce textile intègre des fibres détectant le toucher par conductance. Cette solution a l'avantage de ne pas contraindre l'utilisateur à porter un dispositif particulier et de permettre une certaine "invisibilité" du dispositif. De la fourrure possédant des capacités de détection tactile a aussi été utilisée [29] (Figure 1-d). Ces techniques permettent de détecter la position du toucher, soit par une grille 2D de localisation, soit par contact sur des zones précises. Cependant, elles ne suffisent pas à elles seules à détecter d'autres sous-modalités transmises par le toucher comme la température ou la pression.

3.1.3 Synthèse.

L'intégration des dispositifs de captation de toucher social est une étape cruciale pour effectuer une communication tactile entre deux individus (communication tactile bi-directionnelle). Les dispositifs actuels n'ont souvent pas une résolution aussi fine que celle de la peau humaine, ou alors il sont trop volumineux pour être utilisés de manière discrète. L'acquisition de données de toucher multiples introduit un défi important, celui de leur classification en type de toucher [55], afin de les interpréter en tant de toucher social. Les technologies de type "seconde peau" [103] constituent une direction prometteuse de par leur quasi invisibilité. Elles devront être combinées avec d'autres modalités, comme la reconnaissance d'expression faciale ou le ton de la voix, pour une meilleure reconnaissance des émotions transmises par le toucher.

3.2 Génération du toucher

Pour garantir un fonctionnement naturel, la génération du toucher nécessite de pouvoir spécifier le lieu du toucher et d'appliquer un type de stimulation tactile et une intensité appropriés. La plupart des systèmes existants reposent principalement sur des dispositifs haptiques ou vibrotactiles [14, 49, 60, 98]. Cependant ces technologies n'ont pas été conçues pour la communication affective mais pour la qualité de leurs capacités kinesthésiques ou vibrotactiles. De ce fait elles ne peuvent simuler qu'une partie des sensations que les humains sont capables de percevoir (cf. section 2.1). Leur

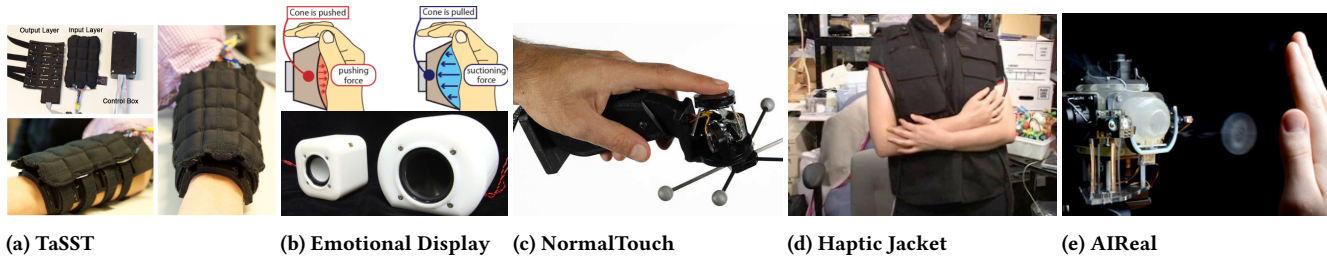


Figure 2: (a) *TaSST*, manchette interactive capable de détecter le toucher (dessus) et de le restituer sous forme de vibrations ; (b) *Sense of Being Alive* Dispositif de contraction et dilatation de l'air permettant de simuler à distance notre partenaire nous tenant la main ; (c) *NormalTouch*, une surface mobile permet de créer des textures sur le doigt ; (d) *Veste Haptique*, permettant de simuler un toucher prolongé (câlin) ; (e) *AIReal*, stimulation tactile projetant des vortex d'air.

utilisation peut cependant constituer une première étape vers la communication de sentiments ou d'émotions.

3.2.1 Types de dispositifs.

Cinq principales technologies ont principalement été employées pour générer du toucher [87] :

- Les *dispositifs vibrotactiles* sont des moteurs rotatifs ou des solénoïdes capables de générer des mouvements. En contact avec la peau, ils peuvent délivrer des alertes silencieuses et invisibles, des avertissements, des messages codés temporellement et spatialement ou tonotopiquement en agissant sur les mécanorécepteurs de la peau [49, 60, 80, 96]. Ces dispositifs sont utilisés dans des applications telles que la substitution sensorielle [98], les jeux vidéos ou la navigation [99].
- Les *systèmes à retour de force* sont principalement utilisés pour interagir avec des objets présents dans un environnement virtuel. Ils consistent en un bras articulé intégrant un système de retour de force. Combinés avec les capteurs sensoriels pour obtenir un positionnement précis, les dispositifs de retour de force sont utilisés dans les applications de navigation, de simulation de texture (grâce à des mouvements fins) ou de collision avec des objets virtuels. Leur utilisation pour communiquer du toucher social est récente, comme par exemple un dispositif pour serrer virtuellement une main.[4].
- Les *Surfaces vibrantes* simulent la texture et la sensation de toucher fin. Lorsque l'index est en contact avec une telle surface, le dispositif fournit des vibrations allant de 50 à 300 Hz pour simuler fidèlement une texture [22].
- Les *écrans tactiles distribués* et *interfaces à forme variable* sont des surfaces changeant de forme. Typiquement constitués de petits solénoïdes ou d'interfaces pneumatiques, ils fournissent des sensations réparties spatialement directement sur la surface de la peau (généralement le bout du doigt). Ils sont utilisés notamment dans les cellules de braille ou pour des approximations de textures [54] [5](Figure 2-c).
- Les *dispositifs de déplacement d'air* sont capables de propulser de l'air de manière localisée sur la peau. Ils permettent de plus de faire varier la vitesse d'expulsion du flux d'air, sa précision ainsi que sa température. Certains de ces dispositifs reposent sur la génération d'ultrasons. En focalisant plusieurs émetteurs sur un point précis ils permettent de créer une différence de pression locale de l'air [13, 89, 94] (Figure 2-e).

En raison de la surface de peau disponible, il est difficile de construire une interface capable de stimuler l'ensemble du corps. Les dispositifs existants sont conçus pour fonctionner sur des zones prédéfinies et relativement petite, en fonction de la situation dans laquelle l'interaction se déroule. Ceci rend les modalités de retour haptique plutôt adaptées à une intégration dans des objets statiques ou manipulables par l'utilisateur. L'augmentation de dispositifs existants, notamment les smartphones, à d'ailleurs souvent été explorée dans la littérature [17].

3.2.2 Augmentation des téléphones portables.

La popularité et la polyvalence des smartphones permet de les utiliser dans de multiples contextes. C'est donc tout naturellement qu'ils ont été considérés comme des supports propices à une augmentation tactile. Par exemple, Rovers et van Essen [80] ont proposé d'enrichir les émoticônes d'une application de messagerie instantanée avec des motifs vibratiles. Pour ce faire ils ont développé un système permettant de combiner des messages textuels avec des effets haptiques (hapticons) pour transmettre des émotions. Cheek-Touch [75] transmet des émotions tactiles durant les conversations téléphoniques. Lorsque l'un des interlocuteurs touche l'écran du téléphone, l'autre ressent des vibrations contre sa joue. Ces vibrations sont transmises grâce à une matrice vibrotactile située à l'avant du téléphone. Ce projet montre que les utilisateurs peuvent facilement apprendre un vocabulaire tactile issu de motifs de 12 vibreurs, même lorsque les stimulations ne correspondent pas à un mapping réel de toucher.

D'autres projets [96] ont exploré le toucher sur les téléphones mobiles avec des vibro-moteurs. Un actionneur piézoélectrique a été rajouté à un assistant personnel dans [64] pour transmettre de l'information sous le pouce de l'utilisateur. Les vibrations de l'actionneur fournissent un retour haptique sur la position des poignées de défilement ou utilisent des motifs particuliers en fonction des utilisateurs avec qui on interagit. Une plus grande surface de contact avec la peau permettrait d'augmenter la possibilité de communication d'émotions, en effectuant du toucher de contact dynamique. Enfin, Hashimoto et al. [39] ont proposé de lier en temps réel deux personnes, en imitant une situation où elles se tiennent la main, grâce à un dispositif comprimant de l'air (Figure 2-b). Cette interface se limite à retransmettre une pression tactile et n'utilise pas d'autres modalités du toucher.

En raison de la taille et de la forme des petits dispositifs interactifs comme les téléphones portables, les applications associées nécessitent une manipulation spécifique et ne peuvent que stimuler les zones en contact avec le téléphone comme la main ou la joue.

3.2.3 Dispositifs sur l'avant-bras.

Une autre approche consiste à concevoir des interfaces haptiques pour stimuler des zones particulières. Le bras est probablement le meilleur emplacement pour un contact affectif dans un contexte public [42, 73, 80] car possédant à la fois la sensibilité (cf section 2.1) et une large surface pour interagir.

L'émission de vibrations est la technologie la plus utilisée pour interagir avec le corps. Positionnés sur un gant, les moteurs peuvent être utilisés pour transmettre des "émoticônes" en utilisant des motifs spécifiques sur la main et sur les doigts [59]. Huisman et al. ont développé TaSST [48, 49] (Figure 2-a), un dispositif à porter sur le bras constitué de capteurs tactiles et d'une matrice de vibreurs. Ce dispositif permet d'enregistrer et de restituer des stimuli tactiles émotionnels en faisant vibrer des zones définies sur les bras de l'utilisateur. Afin d'augmenter le réalisme de la sensation de toucher, ce dispositif est lié en réalité augmentée à une main d'agent virtuel [47]. L'intention perçue est donc autant simulée par le toucher que par la visualisation de ce toucher. Ces vibrations visent à imiter un toucher dynamique mais ne simulent qu'une partie des modalités haptiques. De ce fait, les sensations perçues ne peuvent qu'approximer un véritable toucher.

D'autres technologies ont également été employées, par exemple des bracelets pneumatiques qui gonflent pour provoquer une douleur contrôlée ou des modifications de la température sur l'avant bras dans le cadre d'interfaces haptiques conçues pour le soulagement thérapeutique [100]. Un dispositif utilisant uniquement la compression pneumatique permet de transmettre efficacement des sensations de pression. La richesse tactile de ce type de dispositif peut être augmentée en y rajoutant la possibilité de déplacements au contact de la peau.

3.2.4 Les vêtements haptiques.

De par leurs propriétés pratiques et leur facteur de forme (proches du corps, rapidement enfilaables) (Figure 2-d), l'utilisation de vestes haptiques a été envisagée dans plusieurs études. Cependant, les vêtements haptiques peuvent difficilement couvrir toute la surface tactile du corps, donc le stimuler en entier, car une interface intégrale risque d'être trop intrusive avec les technologies actuelles [65]. Des vibromoteurs ont été intégrés à une écharpe pour simuler une impression de confort à l'aide de retours haptiques discrets [8, 9]. Le même type de technologie a été utilisé au dos d'une veste pour fournir des notifications [18] ou des informations de guidage, entre autres pour des cosmonautes [98].

Des vestes haptiques ont également été utilisées pour des activités de loisir, par exemple pour renforcer l'expérience cinématographique [60] ou un récit [53], ceci afin d'enrichir la narration et de renforcer le lien émotionnel entre l'histoire et le spectateur. Elles ont également servi à simuler la sensation d'enlacement dans des situations de communication médiée "prolongée" [14, 44, 78, 95], dans des applications de téléconférence et sur la plateforme de simulation de Second-Life. De fait, l'essor de la réalité et des mondes virtuels constitue une opportunité importante pour le marché des

vestes haptiques. Les VR Capsules [1], qui visent à permettre une expérience cinématographique immersive, constituent une tentative de stimulation haptique du corps entier. Avec ce système, l'utilisateur est placé dans un fauteuil sensoriel et ressent un ensemble de vibrations dans le dos ainsi qu'un jet d'air sur la main afin de renforcer le sentiment d'immersion dans un monde virtuel.

3.2.5 Synthèse.

Les technologies pour générer du toucher social tendent à se diversifier. Beaucoup de dispositifs utilisent encore des technologies basées sur l'émission de vibrations pour transmettre des émotions. Ces technologies ont l'avantage d'être peu coûteuses et faciles à implémenter mais elles manquent de réalisme et leur dynamique est limitée du fait de la technologie utilisée. Transmettre des émotions avec des technologies "imparfaites" constitue en soi un défi. Le recours à des interfaces multimodales permet en partie de résoudre ce problème comme l'on montré Wilson et al. dans une étude [106] explorant la combinaison de plusieurs modalités pour augmenter la diversité des émotions générées. Un dispositif capable à la fois de détecter des sensations tactiles et d'y répondre de manière multimodale et complète se pose donc comme un challenge.

3.3 Fermeture de la boucle d'interaction

Au delà de la communication via une interface faisant office de dispositif de médiation du toucher, un des principaux défis dans la conception des technologies de simulation de toucher est le développement d'interfaces capables de prendre en compte toute la boucle d'interaction, de manière à interpréter et communiquer le toucher de la même façon. La fermeture complète de la boucle fait typiquement intervenir un robot, un agent virtuel ou un dispositif capable à la fois de «capturer», «interpréter» et «transmettre» le toucher social [97]. Huisman et al. [46] précisent ces trois étapes comme suit :

- (1) Détecter le toucher social (ainsi que d'autres signaux sociaux pertinents),
- (2) Comprendre ce signal, l'interpréter et effectuer les décisions nécessaires pour que l'agent virtuel ou le robot puisse réagir de manière appropriée,
- (3) Interagir avec l'environnement et transmettre des signaux sous forme de toucher social.

L'utilisation de dispositifs mobiles de petite taille a aussi été envisagée. Alors que les dispositifs humanoïdes tentent généralement d'approcher un toucher physiologiquement vraisemblable, les petits dispositifs sont typiquement limités à une combinaison de modalités plus basiques comme la vibration ou la température. A notre connaissance, malgré les progrès accomplis, il n'existe pas encore d'interfaces permettant à la fois une détection du toucher précise, une génération du toucher réaliste et une capacité de raisonnement non triviale. En l'absence de ces trois étapes, l'interaction risque d'être ressentie comme incomplète ou bizarre.

3.3.1 Le toucher pour les robots.

Lorsque l'on touche un robot, nous communiquons une intention par notre toucher. Si la détection du toucher n'est pas correcte, l'interprétation sera fatalement erronée, d'où l'importance de cette



Figure 3: (a) *Furby*, un jouet robotique qui communique des émotions; (b) *Hapticat*, un jouet zoomorphique qui réagit en fonction des émotions des utilisateurs[107]; (c) *TaSST*, un dispositif de transmission de toucher social superposant la main d'un avatar en réalité augmentée; (d) Perception de toucher sur un agent virtuel.

étape. Inversement, selon certaines études, un toucher effectué par un robot pourrait être équivalent à un contact humain [105], la réaction sensorielle et émotionnelle de l'utilisateur étant similaire à celle qu'il aurait eu s'il avait été touché par un humain. Une étude a par exemple montré que le contact d'un robot vers un humain pouvait motiver la réalisation d'une tâche [88]. Cependant, les travaux en robotique se sont plutôt focalisés sur la transmission d'émotions positives pro-sociales [36], avec pour effet d'éviter les contacts physiques avec les humains pour des raisons d'acceptabilité sociale et de sécurité. Des travaux restent à faire pour donner aux robots la capacité de transmettre une plus grande variété d'émotions par le contact physique, et ce en toute sécurité.

3.3.2 Agents virtuel ayant un impact sur le toucher.

Plusieurs systèmes ont été développés dans ce contexte. Nguyen et al. [71] ont développé un agent virtuel à échelle humaine dans un dispositif immersif CAVE (Figure 3-d) réagissant intentionnellement en fonction des lieux où le toucher est effectué. Huisman et al. [50] ont exploré comment le contact social simulé par un agent virtuel pouvait influencer la confiance perçue dans un jeu de réalité augmentée coopératif ou compétitif (Figure 3-c). Les participants portaient une ceinture vibrotactile et un brassard pour percevoir le contact d'un agent virtuel. Les résultats ont révélé qu'un agent virtuel touchant les participants était perçu comme plus chaleureux qu'un agent ne les touchant pas.

De manière générale, le toucher effectué par un agent virtuel en réponse à une action de l'utilisateur exprime de l'empathie [6]. Les utilisateurs créent une meilleure relation avec l'EVA et perçoivent de manière plus efficace les expressions non verbales de l'avatar (habituellement par la voix et les expressions faciales). La réalité virtuelle et augmentée a été utilisée dans certains projets pour susciter des illusions visuo-tactiles [35]. Dans [46], un écran de réalité augmentée et un manchon tactile permettaient à un agent virtuel de

toucher visuellement et physiquement l'utilisateur, la combinaison de ces deux modalités ayant pour objectif de renforcer le sentiment de réalisme. Le développement des technologies immersives (Réalité Augmentée et Virtuelle) pour le grand public rend ce type de combinaison encore plus pertinent.

3.3.3 Jouets comme interfaces de médiation.

Les jouets robotique comme Furby (Figure 3-a) ou Aibo de Sony sont conçus pour réagir aux interactions physiques et renforcer la communication affective entre les robots et les humains. Ils constituent des exemples typiques de jouets *Zoomorphique*, chaleureux, à mi-chemin entre un animal et un robot articulé. Leur succès commercial montre aussi que la communication affective par ce type de dispositif suscite de l'intérêt auprès du grand public. Ces créatures sont bien adaptées à la communication affective envers un être humain, mais pas pour médiatiser une interaction entre deux individus distants.

Baby seal et cat [87], un prototype précurseur de créature émotionnelle artificielle, a été développé pour explorer les émotions via des interactions entre un robot sensoriel multimodal et les humains. Cette étude a constaté qu'il était plus naturel d'interagir avec un animal (plutôt qu'un humain) robotique car les animaux sont par essence des créatures qui ne communiquent pas verbalement et l'utilisateur s'attend donc à une réponse physique du dispositif. Une exploration plus approfondie du rôle des matériaux employés pour les robots zoomorphiques a également été effectuée [90]. Cette étude a évalué comment la texture influe sur la perception des émotions. On peut aussi remarquer que la fourrure peut être utilisée comme capteur ou pour masquer des capteurs plus complexes [16] et donner un véritable sentiment d'incarnation de l'animal. L'utilisation de l'apparence extérieure inspire la création de nouveaux dispositifs pouvant intégrer la détection de toucher de manière invisible.

L'un des exemples les plus développés est la créature haptique de Yohanan et MacLean [107–109]. Ce robot (Figure 3-b) répond à l'interaction humaine effectuée par le toucher et transmet en retour son état émotionnel via la modalité haptique. Il est capable de changer sa température, d'imiter le ronronnement, de respirer ou de bouger les oreilles. Pour ce dispositif, la fermeture de la boucle interactionnelle s'effectuait grâce à un observateur externe caché, qui déclenchait les réactions du robot en fonction des actions des utilisateurs.

3.3.4 Synthèse.

Un dispositif qui a la capacité de «ressentir», «comprendre» et «répondre» au toucher aussi efficacement que les humains sera capable d'une interaction plus intuitive et significative avec eux. Une poignée de main désynchronisée avec un partenaire peut, comme tout autre toucher social insatisfaisant, avoir pour conséquence un sentiment de rejet du fait des différences culturelles [20]. Les dispositifs ou entités artificiels (robots, avatars ...) possédant des capacités tactiles produisent ou interprètent le toucher, mais rarement les deux à la fois. Les deux directions sont pourtant nécessaires pour fermer la boucle interactionnelle, et créer une interaction bidirectionnelle réelle et transparente. Le défi est avant-tout technologique car les

futurs dispositifs devront s'approcher des capacités du toucher humain tout en prenant en compte le contexte d'interaction en liant le toucher aux autres indices de communication non-verbale.

4 DISCUSSION

Notre état de l'art a mis en avant de nouveaux types de dispositifs permettant de détecter et de générer le toucher social. La conception de nouvelles interfaces soulève plusieurs défis. D'abord, les capacités de l'humain à transmettre et à détecter les émotions au travers des technologies sont à considérer de même que la prise en compte du contexte. Ensuite, la réalisation de nouveaux dispositifs de toucher social engendre de nouvelles problématiques

4.1 Enjeux humains et physiologiques

4.1.1 *Simuler un toucher multimodal.*

Pour communiquer des émotions, les interfaces basées sur le toucher social doivent simuler de manière crédible le toucher. Une bonne perception du toucher social nécessite des stimuli plus sophistiqués et plus proches des sensations réelles que ce que la plupart des dispositifs haptiques ou vibrotactiles actuels sont capables de fournir. La quasi totalité des projets de recherche de cet état de l'art ne simulent qu'un seul aspect du toucher, ce qui s'explique entre autres par le fait que la plupart des technologies disponibles n'ont pas été développées pour le toucher social.

Il est donc nécessaire de développer des dispositifs exploitant davantage de dimensions perceptives, en prenant en compte les spécificités de la physiologie du toucher (Section 2.1). Les technologies basées sur la propulsion d'air, le contrôle de la température ou de l'humidité sont un pas dans cette direction. Simultanément, les travaux effectués en psychologie [34] nécessitent d'être poursuivis pour mieux comprendre les liens entre les émotions et les différents paramètres du toucher.

4.1.2 *Combiner tous les sens.*

Lors d'un contact tactile notre perception visuelle ou kinesthésique renforce la sensation de toucher. De fait, la sensation du toucher est presque toujours multimodale. De plus, les limitations des technologies disponibles introduisent un écart important entre ce que l'utilisateur s'attend à ressentir et ce qu'il perçoit effectivement. Il est donc souhaitable de combiner le retour tactile avec d'autres modalités, par exemple la vision en réalité augmentée comme dans [47].

4.1.3 *Concevoir des langages.*

Face à la difficulté de générer efficacement les stimuli tactiles, d'autres solutions peuvent être envisagées comme apprendre de nouvelles sensations haptiques pour les associer à des émotions spécifiques [80]. Pour développer ces nouveaux langages interactifs, il est aussi envisageable de transférer d'autres paradigmes d'interaction, comme se servir des gestes multitouch pour évoquer des émotions [102].

4.1.4 *Suggérer les interactions.*

La plupart des interfaces de toucher social ne comportent pas d'indices sur la façon dont on peut interagir avec elles. Cet aspect doit être pris en compte pour que les dispositifs puissent suggérer leur propre utilisation.

4.1.5 *Prise en compte du contexte.*

La prise en compte du contexte d'interaction est nécessaire pour déterminer les moments propices aux interactions affectives. En effet, le toucher social ne doit pas nuire à l'activité principale de l'utilisateur en le surchargeant perceptivement. Des sollicitations ou notifications incessantes ou non-souhaitées pourraient conduire à un rejet de la technologie.

4.2 Enjeux techniques

Outre le besoin de développer des technologies de rendu tactile plus réalistes, la prise en compte de certains aspects techniques est susceptible d'améliorer l'expérience utilisateur :

4.2.1 *Miniaturisation et portabilité.*

Les dispositifs existants tendent à être volumineux et invasifs. L'utilisation de matériaux flexibles et moins visibles, capables à la fois de détecter le toucher et de le restituer, ainsi que l'intégration dans des vêtements conditionnera l'acceptation sociale de ces technologies. La miniaturisation pose aussi le problème de disposer d'une source d'énergie suffisante. C'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles des études se sont intéressées à l'augmentation des smartphones [75, 96], ceux-ci disposant de leur propre source d'énergie, outre le fait qu'ils sont largement utilisés.

4.2.2 *Développer des dispositifs à l'échelle .*

Les interfaces de simulation du toucher sont conçues pour des zones du corps précises, souvent sur l'avant-bras. Ceci a pour avantage de réduire la taille du dispositif mais aussi de maîtriser plus précisément la zone de contact à stimuler. Les vestes haptiques [60] couvrent une surface plus grande mais leur rendu est moins précis, notamment du fait des différences morphologiques interindividuelles. La popularisation des technologies de réalité virtuelle peut inciter au développement de dispositifs capable de stimuler une large partie du corps pour pouvoir bénéficier de rendus tactiles dans ce contexte. Des dispositifs basés sur la propulsion d'air [89] ou des bras robotiques en mouvement peuvent fournir des solutions à ce besoin.

4.2.3 *Faciliter la création de plates-formes d'exploration.*

Enfin, pour pouvoir explorer efficacement ce domaine et réduire les coûts et temps de développement, il serait utile de concevoir et implémenter des plates-formes logicielles et matérielles réutilisables, à l'instar de ce que l'on peut trouver dans d'autres domaines [84].

4.3 Perspectives du toucher social pour la communication en HCI

L'utilisation du toucher social en Interaction Homme-Machine est récent mais prometteur. Certains contextes émergents tireraient notamment bénéfice d'une amélioration de la communication émotionnelle entre humains grâce à ce canal.

4.3.1 Les environnements virtuels collaboratifs . Les environnements virtuels collaboratifs sont de plus en plus utilisés pour l'éducation à distance, les simulations de formation, les traitements thérapeutiques et les sites d'interaction sociale. Il a été montré que l'ajout de retours haptiques à l'interaction entre les utilisateurs augmente significativement la perception sociale[82].

4.3.2 *La communication émotionnelle quotidienne*. Des récentes études [51] mettent en avant l'importance du lien émotionnel quotidien entre individus. Une technologie de détection et génération de toucher non-invasive permettrait de maintenir un lien social et émotionnel entre les personnes d'une même famille lorsqu'elles sont distantes.

4.3.3 *La téléprésence*. Un des buts de la téléprésence est de fournir aux utilisateurs l'illusion d'une présence physique. Dans ce but, les interfaces de communication doivent être en mesure de réagir avec le comportement de l'utilisateur et de fournir des retours neuro-sensoriels en temps réel, le toucher jouant un rôle particulièrement important pour la communication avec des proches.

5 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté différentes facettes du toucher social, en partant de sa réalité biologique jusqu'aux technologies et cas d'applications en Interaction Homme-Machine. L'utilisation du toucher pour provoquer ou transmettre des émotions est à ce jour un domaine encore assez peu exploré. Cet état de l'art a pour objectif de rassembler et d'organiser les travaux de diverses communautés de recherche, afin de tenter d'offrir une vue globale de ce sujet.

La popularisation des dispositifs numériques a pour effet de rendre de plus en plus fréquentes les interactions sociales médiatisées, en particulier via les applications de messagerie instantanée. En rajoutant une modalité de communication supplémentaire, la prise en compte du toucher social est une possibilité intéressante pour enrichir cette forme de communication. Par ailleurs, l'essor de la réalité virtuelle, et des interactions avec des agents virtuels, constitue une opportunité pour le développement de formes de communication relevant du toucher social. La suite de nos travaux se situera dans ce cadre et visera à explorer comment générer des stimuli plus réalistes dans les interfaces faisant appel au toucher social.

RÉFÉRENCES

- [1] . 2016. VR Capsule - 9D VR. (2016). http://www.skyfungame.com/page89.html?product_id=148.
- [2] Fumihito Arai, Kouhei Motoo, Paul GR Kwon, Toshio Fukuda, Akihiko Ichikawa, and Tohoru Katsuragi. 2003. Novel touch sensor with piezoelectric thin film for microbial separation. In *Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA'03. IEEE International Conference on*, Vol. 1. IEEE, 306–311.
- [3] Michael Argyle. 2013. *Bodily communication*. Routledge.
- [4] Jeremy N Bailenson, Nick Yee, Scott Brave, Dan Merget, and David Koslow. 2007. Virtual interpersonal touch : expressing and recognizing emotions through haptic devices. *Human-Computer Interaction* 22, 3 (2007), 325–353.
- [5] Hrvoje Benko, Christian Holz, Mike Sinclair, and Eyal Ofek. NormalTouch and TextureTouch : High-fidelity 3D Haptic Shape Rendering on Handheld Virtual Reality Controllers. (???) , 717–728. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2984511.2984526>
- [6] Timothy W Bickmore, Rukmal Fernando, Lazlo Ring, and Daniel Schulman. 2010. Empathic touch by relational agents. *IEEE Transactions on Affective Computing* 1, 1 (2010), 60–71.
- [7] Annika Billhult and Sylvia Määttä. 2009. Light pressure massage for patients with severe anxiety. *Complementary Therapies in Clinical Practice* 15, 2 (2009), 96–101.
- [8] Leonardo Bonanni and Cati Vaucelle. 2006. Affective TouchCasting. In *ACM SIGGRAPH 2006 Sketches (SIGGRAPH '06)*. ACM, New York, NY, USA, Article 35. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1179849.1179893>
- [9] Leonardo Bonanni, Cati Vaucelle, Jeff Lieberman, and Orit Zuckerman. 2006. TapTap : A Haptic Wearable for Asynchronous Distributed Touch Therapy. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '06)*. ACM, New York, NY, USA, 580–585. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1125451.1125573>
- [10] JL Bottorff. 1992. The use and meaning of touch in caring for patients with cancer. In *Oncology nursing forum*, Vol. 20. 1531–1538.
- [11] Sam Bucolo, Jonathan Mott, and Roy Kimble. 2006. The Design of a Tangible Interaction Device to Alleviate Anxiety and Pain in Paediatric Burns Patients. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '06)*. ACM, New York, NY, USA, 129–134. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1125451.1125482>
- [12] Giorgio Cannata, Marco Maggiali, Giorgio Metta, and Giulio Sandini. 2008. An embedded artificial skin for humanoid robots. In *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 2008. MFI 2008. IEEE International Conference on*. IEEE, 434–438.
- [13] Tom Carter, Sue Ann Seah, Benjamin Long, Bruce Drinkwater, and Sriram Subramanian. 2013. UltraHaptics : multi-point mid-air haptic feedback for touch surfaces. In *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 505–514.
- [14] Jongeun Cha, Mohamad Eid, Ahmad Barghout, ASM Rahman, and Abdulmoteleb El Saddik. 2009. HugMe : synchronous haptic teleconferencing. In *Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia*. ACM, 1135–1136.
- [15] Liwei Chan, Rong-Hao Liang, Ming-Chang Tsai, Kai-Yin Cheng, Chao-Huai Su, Mike Y Chen, Wen-Huang Cheng, and Bing-Yu Chen. 2013. FingerPad : private and subtle interaction using fingertips. In *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 255–260.
- [16] Jonathan Chang, Karon MacLean, and Steve Yohanan. 2010. Gesture recognition in the haptic creature. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*. Springer, 385–391.
- [17] Seungmoon Choi and Katherine J. Kuchenbecker. 2013. Vibrotactile display : Perception, technology, and applications. *Proc. IEEE* 101, 9 (2013), 2093–2104. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2012.2221071>
- [18] Keywon Chung, Carnaven Chiu, Xiao Xiao, and Pei-Yu Peggy Chi. 2009. Stress outsourced : a haptic social network via crowdsourcing. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2439–2448.
- [19] S Costa, J Resende, F O Soares, M J Ferreira, C P Santos, and F Moreira. 2009. Applications of simple robots to encourage social receptiveness of adolescents with autism. *IEEE*, 5072–5075. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5334269>
- [20] Anne Cranny-Francis. 2011. Semefulness : a social semiotics of touch. *Social Semiotics* 21, 4 (2011), 463–481.
- [21] April H Crusco and Christopher G Wetzel. 1984. The midas touch the effects of interpersonal touch on restaurant tipping. *Personality and Social Psychology Bulletin* 10, 4 (1984), 512–517.
- [22] Benoit Delhay, Vincent Hayward, Philippe Lefèvre, and Jean-Louis Thonnard. Texture-induced vibrations in the forearm during tactile exploration. (???) .
- [23] Nilofar Dezfali, Mohammadreza Khalilbeigi, Jochen Huber, Florian Müller, and Max Mühlhäuser. 2012. PalmRC : imaginary palm-based remote control for eyes-free television interaction. In *Proceedings of the 10th European conference on Interactive tv and video*. ACM, 27–34.
- [24] Paul Ekman. 1994. Strong evidence for universals in facial expressions : a reply to Russell's mistaken critique. (1994).
- [25] Greg K. Essick, Francis McGlone, Chris Dancer, David Fabricant, Yancy Ragin, Nicola Phillips, Therese Jones, and Steve Guest. 2010. Quantitative assessment of pleasant touch. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 34, 2 (2010), 192–203. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.02.003>
- [26] Tiffany Field. 2010. Touch for socioemotional and physical well-being : A review. *Developmental Review* 30, 4 (2010), 367–383.
- [27] Tiffany M Field. 2014. *Touch in early development*. Psychology Press.
- [28] Jeffrey D Fisher, Marvin Rytting, and Richard Heslin. 1976. Hands touching hands : Affective and evaluative effects of an interpersonal touch. *Sociometry* (1976), 416–421.
- [29] Anna Flagg and Karon MacLean. 2013. Affective touch gesture recognition for a furry zoomorphic machine. In *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*. ACM, 25–32.
- [30] Emmanuel Dean-Leon Florian Bergner and Gordon Cheng. 2016. Event-based signaling for large-scale artificial robotic skin - Realization and performance evaluation. In *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE, Deajeon, Korea, 4918 – 4924.
- [31] Alberto Gallace and Charles Spence. 2010. The science of interpersonal touch : an overview. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 34, 2 (2010), 246–259.
- [32] Madeline Gannon, Tovi Grossman, and George Fitzmaurice. 2016. ExoSkin : On-Body Fabrication. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 5996–6007.
- [33] Steve Guest, Greg Essick, Jean Marc Dessirier, Kevin Blot, Kannapon Lopetcharat, and Francis McGlone. 2009. Sensory and affective judgments of skin during inter- and intrapersonal touch. *Acta Psychologica* 130, 2 (2009), 115–126. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.10.007>
- [34] Antal Haans and Wijnand IJsselstein. 2006. Mediated social touch : a review of current research and future directions. *Virtual Reality* 9, 2-3 (2006), 149–159.
- [35] Antal Haans and Wijnand A IJsselstein. 2009. The virtual Midas touch : Helping behavior after a mediated social touch. *IEEE Transactions on Haptics* 2, 3 (2009),

- 136–140.
- [36] David Hanson, Andrew Olney, Steve Prilliman, Eric Mathews, Marge Zielke, Derek Hammons, Raul Fernandez, and Harry Stephanou. 2005. Upending the uncanny valley. In *Proceedings of the national conference on artificial intelligence*, Vol. 20. Menlo Park, CA ; Cambridge, MA ; London ; AAAI Press ; MIT Press ; 1999, 1728.
- [37] Chris Harrison, Hrvoje Benko, and Andrew D Wilson. 2011. OmniTouch : wearable multitouch interaction everywhere. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 441–450.
- [38] Chris Harrison, Desney Tan, and Dan Morris. 2010. Skinput : appropriating the body as an input surface. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. ACM, 453–462.
- [39] Yuki Hashimoto, Satsuki Nakata, and Hiroyuki Kajimoto. 2009. Novel tactile display for emotional tactile experience. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. ACM, 124–131.
- [40] Morton A Heller and William Schiff. 2013. *The psychology of touch*. Psychology Press.
- [41] Matthew J Hertenstein, Rachel Holmes, Margaret McCullough, and Dacher Keltner. 2009. The communication of emotion via touch. *Emotion* 9, 4 (2009), 566.
- [42] Matthew J Hertenstein, Dacher Keltner, Betsy App, Brittany a Buleit, and Ariane R Jaskolka. 2006. Touch communicates distinct emotions. *Emotion (Washington, D.C.)* 6, 3 (2006), 528–533. DOI : <http://dx.doi.org/10.1037/1528-3542.6.3.528>
- [43] Jacob Hornik. 1992. Effects of physical contact on customers' shopping time and behavior. *Marketing Letters* 3, 1 (1992), 49–55.
- [44] SK Alamgir Hossain, Abu Saleh Md Mahfujur Rahman, and Abdulmoteleb El Saddik. 2011. Measurements of multimodal approach to haptic interaction in second life interpersonal communication system. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 60, 11 (2011), 3547–3558.
- [45] Gijs Huisman. 2017. Social Touch Technology : A Survey of Haptic Technology for Social Touch. *IEEE Transactions on Haptics* (2017).
- [46] Gijs Huisman, Merijn Bruijnes, Jan Kolkmeier, Merel Jung, Aduén Darriba Frederiks, and Yves Rybarczyk. 2013. Touching virtual agents : embodiment and mind. In *International Summer Workshop on Multimodal Interfaces*. Springer, 114–138.
- [47] Gijs Huisman, Merijn Bruijnes, Jan Kolkmeier, Merel M Jung, Aduén Darriba Frederiks, and Yves Rybarczyk. 2014. Touching virtual agents : embodiment and mind. *Innovative and Creative Developments in Multimodal Interaction Systems* (2014), 114–138. DOI : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-55143-7_5
- [48] Gijs Huisman and Aduén Darriba Frederiks. 2013. Towards tactile expressions of emotion through mediated touch. In *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 1575–1580.
- [49] Gijs Huisman, Aduén Darriba Frederiks, and Dirk Heylen. 2013. Affective touch at a distance. In *Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 2013 Humaine Association Conference on*. IEEE, 701–702.
- [50] Gijs Huisman, Jan Kolkmeier, and Dirk Heylen. 2014. With us or against us : simulated social touch by virtual agents in a cooperative or competitive setting. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*. Springer, 204–213.
- [51] Hilary Hutchinson, Wendy Mackay, Bo Westerlund, Benjamin B Bederson, Allison Druin, Catherine Plaisant, Michel Beaudouin-Lafon, Stéphane Conversy, Helen Evans, Heiko Hansen, and others. 2003. Technology probes : inspiring design for and with families. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM, 17–24.
- [52] Line S I Morrison, Löken and Håkan Olausson. 2010. The skin as a social organ. *Experimental brain research* 204, 3 (2010), 305–314.
- [53] Ali Israr, Siyan Zhao, Kaitlyn Schwalje, Roberta Klatzky, and Jill Lehman. 2014. Feel effects : enriching storytelling with haptic feedback. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)* 11, 3 (2014), 11.
- [54] 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*. ACM, 3706–3716.
- [55] Merel M Jung, Ronald Poppe, Mannes Poel, and Dirk KJ Heylen. 2014. Touching the Void—Introducing CoST : Corpus of Social Touch. In *Proceedings of the 16th International Conference on Multimodal Interaction*. ACM, 120–127.
- [56] Hsin-Liu Cindy Kao, Christian Holz, Asta Roseway, Andres Calvo, and Chris Schmandt. 2016. DuoSkin : rapidly prototyping on-skin user interfaces using skin-friendly materials. In *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers*. ACM, 16–23.
- [57] Thorsten Karrer, Moritz Wittenhagen, Florian Heller, and Jan Borchers. 2010. Pinstripe : eyes-free continuous input anywhere on interactive clothing. In *Adjunct proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 429–430.
- [58] Dong-Ki Kim, Jong-Ho Kim, Young-Tae Kim, Min-Seok Kim, Yon-Kyu Park, and Young-Ha Kwon. 2013. Robot fingertip tactile sensing module with a 3D-curved shape using molding technique. *Sensors and Actuators A : Physical* 203 (2013), 421–429.
- [59] Sreekar Krishna, Shantanu Bala, Troy McDaniel, Stephen McGuire, and Sethuraman Panchanathan. 2010. VibroGlove : An Assistive Technology Aid for Conveying Facial Expressions. In *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '10)*. ACM, New York, NY, USA, 3637–3642. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1753846.1754031>
- [60] Paul Lemmens, Floris Cromptvoets, Dirk Brokken, Jack Van Den Eerenbeemd, and Gert-Jan de Vries. 2009. A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing. In *EuroHaptics Conference, 2009 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2009. Third Joint. IEEE*, 7–12.
- [61] Roman Lissermann, Jochen Huber, Aristotelis Hadjakos, and Max Mühlhäuser. 2013. Earput : Augmenting behind-the-ear devices for ear-based interaction. In *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 1323–1328.
- [62] Line S Löken, Johan Wessberg, Francis McGlone, and Håkan Olausson. 2009. Coding of pleasant touch by unmyelinated afferents in humans. *Nature neuroscience* 12, 5 (2009), 547–548.
- [63] JM Loomis and SJ Lederman. 1986. Tactual Perception Handbook of Perception and Human Performance Vol. 2 Cognitive Processes and Performance by KR Boff, L. Kaufman and JP Thomas. (1986).
- [64] 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)*. ACM, New York, NY, USA, 10.
- [65] Karon E MacLean. 2000. Designing with haptic feedback. In *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on*, Vol. 1. IEEE, 783–788.
- [66] Karon E Maclean and Page Mill Road. 2000. Designing with Haptic Feedback. April (2000).
- [67] Ed McDaniel and Peter A Andersen. 1998. International patterns of interpersonal tactile communication : A field study. *Journal of Nonverbal Behavior* 22, 1 (1998), 59–75.
- [68] Francis McGlone, Johan Wessberg, and Håkan Olausson. 2014. Discriminative and affective touch : sensing and feeling. *Neuron* 82, 4 (2014), 737–755.
- [69] Michael Melzer, Martin Kaltenbrunner, Denys Makarov, Dmitriy Karnaushenko, Daniil Karnaushenko, Tsuyoshi Sekitani, Takao Someya, and Oliver G Schmidt. 2015. Imperceptible magneto-electronics. *Nature communications* 6 (2015).
- [70] Pranav Mistry, Pattie Maes, and Liyan Chang. 2009. WUW-wear Ur world : a wearable gestural interface. In *CHI'09 extended abstracts on Human factors in computing systems*. ACM, 4111–4116.
- [71] Nhung Nguyen, Ipke Wachsmuth, and Stefan Kopp. 2007. Touch perception and emotional appraisal for a virtual agent. In *Proceedings Workshop Emotion and Computing-Current Research and Future Impact*.
- [72] Håkan Olausson, Johan Wessberg, Francis McGlone, and Åke Vallbo. 2010. The neurophysiology of unmyelinated tactile afferents. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 34, 2 (2010), 185–191.
- [73] Simon Olberding, Kian Peen Yeo, Suranga Nanayakkara, and Jurgen Steimle. 2013. AugmentedForearm : Exploring the Design Space of a Display-enhanced Forearm. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference (AH '13)*. ACM, New York, NY, USA, 9–12. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2459236.2459239>
- [74] Alexandros Pantelopoulos and Nikolaos G Bourbakis. 2010. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)* 40, 1 (2010), 1–12.
- [75] Young-Woo Park, Chang-Young Lim, and Tek-Jin Nam. 2010. CheekTouch : An Affective Interaction Technique While Speaking on the Mobile Phone. In *CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '10)*. ACM, New York, NY, USA, 3241–3246. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1753846.1753965>
- [76] Rosalind W Picard and Roalind Picard. 1997. *Affective computing*. Vol. 252. MIT press Cambridge.
- [77] Ivan Poupyrev, Nan-Wei Gong, Shiho Fukuhara, Mustafa Emre Karagözlü, Carsten Schwesig, and Karen E Robinson. 2016. Project Jacquard : Interactive Digital Textiles at Scale. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 4216–4227.
- [78] Abu Saleh Md Mahfujur Rahman and Abdulmoteleb El Saddik. 2011. HKiss : Real world based haptic interaction with virtual 3D avatars. In *Multimedia and Expo (ICME), 2011 IEEE International Conference on*. IEEE, 1–6.
- [79] S. Rosenträger. 2008. *Emoticons as a New Means of Communication in Italy and Germany*. GRIN Verlag. <https://books.google.fr/books?id=0ba0KQJyKcC>
- [80] A.F. Rovers and H.A. van Essen. 2004. HIM : A Framework for Haptic Instant Messaging. In *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '04)*. ACM, New York, NY, USA, 1313–1316. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/985921.986052>
- [81] James A Russell. 1978. Evidence of convergent validity on the dimensions of affect. *Journal of personality and social psychology* 36, 10 (1978), 1152.
- [82] Eva-Lotta Sallnäs. 2010. Haptic feedback increases perceived social presence. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*. Springer, 178–185.

- [83] Tamie Salter, Neil Davey, and Francois Michaud. 2014. Designing & developing QueBall, a robotic device for autism therapy. In *Robot and Human Interactive Communication, 2014 RO-MAN : The 23rd IEEE International Symposium on*. IEEE, 574–579. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6926314
- [84] John Sarik and Ioannis Kymissis. 2010. Lab kits using the Arduino prototyping platform. In *Frontiers in Education Conference (FIE), 2010 IEEE*. IEEE, T3C–1.
- [85] Harold Schlosberg. 1954. Three dimensions of emotion. *Psychological review* 61, 2 (1954), 81.
- [86] Berit Seiger Cronfalk. 2008. Being in safe hands : The experiences of soft tissue massage as a complement in palliative care. Intervention studies concerning patients, relatives and nursing staff. (2008).
- [87] Takanori Shibata and Kazuo Tanie. 2001. Physical and affective interaction between human and mental commit robot. In *Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on*, Vol. 3. IEEE, 2572–2577.
- [88] Masahiro Shiomi, Kayako Nakagawa, Kazuhiko Shinozawa, Reo Matsumura, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita. 2016. Does A Robot's Touch Encourage Human Effort? *International Journal of Social Robotics* (2016), 1–11.
- [89] Rajinder Sodhi, Matthew Glisson, and Ivan Poupyrev. 2013. AIRREAL : tactile interactive experiences in free air. In *Proceedings of the adjunct publication of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 25–26.
- [90] Walter Dan Stiehl, Jeff Lieberman, Cynthia Breazeal, Louis Basel, Levi Lalla, and Michael Wolf. 2005. Design of a therapeutic robotic companion for relational, affective touch. In *Robot and Human Interactive Communication, 2005. ROMAN 2005. IEEE International Workshop on*. IEEE, 408–415.
- [91] Emi Tamaki, Takashi Miyak, and Jun Rekimoto. 2010. BrainyHand : a wearable computing device without HMD and it's interaction techniques. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces*. ACM, 387–388.
- [92] Ippei Torii, Kaoruko Ohtani, Takahito Niwa, Ayuki Yamamoto, and Naohiro Ishii. 2012. Augmentative and alternative communication with digital assistant for autistic children. In *Emerging Signal Processing Applications (ESPA), 2012 IEEE International Conference on*. IEEE, 71–74.
- [93] Chad C Tossell, Philip Kortum, Clayton Shepard, Laura H Barg-Walkow, Ahmad Rahmati, and Lin Zhong. 2012. A longitudinal study of emoticon use in text messaging from smartphones. *Computers in Human Behavior* 28, 2 (2012), 659–663.
- [94] Mohamed Yassine Tsamlal, Nizar Ouarti, Jean-Claude Martin, and Mehdi Ammi. 2013. EmotionAir : perception of emotions from air jet based tactile stimulation. In *Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 2013 Humaine Association Conference on*. IEEE, 215–220.
- [95] Dzmitry Tsetserukou. 2010. HaptiHug : A novel haptic display for communication of hug over a distance. *Haptics : Generating and Perceiving Tangible Sensations* (2010), 340–347.
- [96] Shafiq ur Rehman and Li Liu. 2010. ifeeling : Vibrotactile rendering of human emotions on mobile phones. In *Mobile multimedia processing*. Springer, 1–20.
- [97] Jan BF Van Erp and Alexander Toet. 2015. Social touch in human–computer interaction. *Frontiers in digital humanities* 2 (2015), 2.
- [98] Jan BF Van Erp and HAHC Van Veen. 2003. A multi-purpose tactile vest for astronauts in the international space station. In *Proceedings of eurohaptics*. Dublin, Ireland : ACM, Press, 405–408.
- [99] Jan BF Van Erp and Hendrik AHC Van Veen. 2004. Vibrotactile in-vehicle navigation system. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour* 7, 4 (2004), 247–256.
- [100] Cati Vauclle, Leonardo Bonanni, and Hiroshi Ishii. 2009. Design of Haptic Interfaces for Therapy. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '09)*. ACM, New York, NY, USA, 467–470. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/1518701.1518776>
- [101] Zheng Wang, Elias Giannopoulos, Mel Slater, Angelika Peer, and Martin Buss. 2011. Handshake : Realistic human-robot interaction in haptic enhanced virtual reality. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 20, 4 (2011), 371–392.
- [102] Martin Weigel and E Campus. 2014. More Than Touch : Understanding How People Use Skin as an Input Surface for Mobile Computing. (2014), 179–188.
- [103] Martin Weigel, Tong Lu, Gilles Bailly, Antti Oulasvirta, Carmel Majidi, and Jürgen Steimle. 2015. Iskin : flexible, stretchable and visually customizable on-body touch sensors for mobile computing. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2991–3000.
- [104] Michael Wessely, Theophanis Tsandilas, and Wendy E. Mackay. 2016. Stretchis : Fabricating Highly Stretchable User Interfaces. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '16)*. ACM, New York, NY, USA, 697–704. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2984511.2984521>
- [105] Christian JAM Willemsse, Gijs Huisman, Merel M Jung, Jan BF van Erp, and Dirk KJ Heylen. 2016. Observing Touch from Video : The Influence of Social Cues on Pleasantness Perceptions. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications*. Springer, 196–205.
- [106] Graham Wilson and Stephen A Brewster. 2017. Multi-Moji : Combining Thermal , Vibrotactile & Visual Stimuli to Expand the Affective Range of Feedback. (2017), 3025614.
- [107] Steve Yohanan, Mavis Chan, Jeremy Hopkins, Haibo Sun, and Karon MacLean. 2005. Hapticat : exploration of affective touch. In *Proceedings of the 7th international conference on Multimodal interfaces*. ACM, 222–229.
- [108] Steve Yohanan and Karon E MacLean. 2008. The haptic creature project : Social human-robot interaction through affective touch. In *Proceedings of the AISB 2008 Symposium on the Reign of Catz & Dogs : The Second AISB Symposium on the Role of Virtual Creatures in a Computerised Society*, Vol. 1. Citeseer, 7–11.
- [109] Steve Yohanan and Karon E MacLean. 2012. The role of affective touch in human-robot interaction : Human intent and expectations in touching the haptic creature. *International Journal of Social Robotics* 4, 2 (2012), 163–180.
- [110] Yang Zhang, Junhan Zhou, Gierad Laput, and Chris Harrison. 2016. Skintrack : Using the body as an electrical waveguide for continuous finger tracking on the skin. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 1491–1503.