



**HAL**  
open science

## MulseBox : nouveau dispositif d'interaction multisensorielle

Céline Jost, Brigitte Le Pevedic, Gérard Uzan

► **To cite this version:**

Céline Jost, Brigitte Le Pevedic, Gérard Uzan. MulseBox : nouveau dispositif d'interaction multisensorielle. Actes de la 31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM 2019), Dec 2019, Grenoble, France. pp.5:1-13, 10.1145/3366550.3372251 . hal-02381588

**HAL Id: hal-02381588**

**<https://hal.science/hal-02381588v1>**

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.

# MulseBox : nouveau dispositif d'interaction multisensorielle

## *MulseBox: New Multisensory Interaction Device*

Céline Jost  
 Université Paris 8  
 Saint-Denis, Île-de-France, France  
 celine.jost@univ-paris8.fr

Brigitte Le Pévédic  
 Université de Bretagne-Sud  
 Vannes, Bretagne, France  
 brigitte.le-pevedic@univ-ubs.fr

Gérard Uzan  
 Université Paris 8  
 Saint-Denis, Île-de-France, France  
 gerard.uzan@univ-paris8.fr

### ABSTRACT

*This paper presents MulseBox, a new multisensory interactive device, which can propose new percepts of interaction and simulate real-life situation to help learning and transfer of learning in daily-life. Indeed, multisensory interaction is known to improve learning performances. MulseBox can easily be enriched with real objects and virtual objects. It is evolving. It answers a need highlighted by the scientific literature: the lack of a unique multisensory device to work with on common problematics. Indeed, we found that eight disciplines at least are investigating multisensory with the shared secondary objectives to increase users' Quality of Experience and to design for all (that is considering disabilities). MulseBox is a device allowing researchers to solve identified problematics. An exploratory study showed first promising results about MulseBox relevance.*

### CCS CONCEPTS

• **Hardware** → **Emerging technologies** → **Analysis and design of emerging devices and systems**; **Information systems** → **Information systems applications** → **Collaborative and social computing systems and tools**; **Human-centered computing**; **Applied computing**.

### KEYWORDS

*Multisensorial interaction, ecological interaction, digital device, interaction techniques, cognitive entertainment*

### RÉSUMÉ

Cet article présente MulseBox, un nouveau dispositif interactif multisensoriel, capable de proposer des nouveaux percepts d'interaction et de simuler des situations de la vie réelle pour faciliter l'apprentissage et le transfert des acquis dans la vie quotidienne. En effet, l'interaction multisensorielle est connue pour améliorer les performances neuropsychologiques. MulseBox peut facilement être enrichi d'objets réels et d'objets virtuels. Il est évolutif. Et il répond à un manque que la littérature scientifique a mis en évidence : l'absence d'un dispositif multisensoriel unique permettant de résoudre les problématiques actuelles. En effet, nous avons recensé qu'au moins huit disciplines étudient l'interaction multisensorielle avec des objectifs secondaires communs qui sont d'augmenter la qualité de l'expérience des utilisateurs et de concevoir pour tous (c'est-à-dire qui soient accessibles aux personnes en situation de handicap). MulseBox se situe comme un dispositif permettant aux chercheurs de résoudre les problèmes identifiés dans la littérature. Une étude exploratoire a montré des premiers résultats prometteurs sur la pertinence de MulseBox.

### MOTS CLÉS

Interaction multisensorielle, interaction écologique, dispositif numérique, technique d'interaction, entraînement cognitif

### 1 INTRODUCTION

Dans le cadre du projet StimSense, nous voulons vérifier l'apport d'exercices informatiques multisensoriels lors de séances de stimulation cognitive. En effet, la littérature a montré que des personnes récupéraient un meilleur équilibre postural, une meilleure humeur et un meilleur état cognitif en faisant des exercices multimodaux [1][2]. Mais les exercices de stimulation cognitive sont efficaces seulement s'ils peuvent être appliqués à la vie quotidienne, c'est ce qu'on appelle le transfert des acquis : un apprentissage est toujours spécifique à une situation et

*IHM'19, December 10–13, 2019, Grenoble, France*

© 2019 Copyright held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.

This is the author's version of the work. It is posted here for your personal use. Not for redistribution. The definitive Version of Record was published in *Actes de la 31e conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM'19), December 10–13, 2019, Grenoble, France.*  
<https://doi.org/10.1145/3366550.3372251>.

ne peut pas être généralisé à d'autres [3]. Il est donc nécessaire que les exercices soient basés sur les Activités de la Vie Quotidienne (AVQ), ce qui a aussi l'avantage et l'intérêt d'augmenter les performances neuropsychologiques [4]. Pour ces raisons, le personnel soignant travaille toujours sur les AVQ, personnalisées à chaque patient, pour leur donner la possibilité d'appliquer leur apprentissage à leur propre vie [3] et en utilisant des objets de la vie quotidienne [5]. Ceci est la base de notre travail.

La multisensorialité a déjà montré ses bienfaits dans le domaine de la santé depuis les années 60 en aidant des personnes ayant des troubles de l'apprentissage [6][7]. Cette approche, appelée Snoezelen, permet de stimuler la vue, l'ouïe, le toucher, le goût et l'odorat pour favoriser le bien-être et réduire le déclin cognitif. Entre autre, elle peut aider au rappel de mémoire [8][9], à corriger ou à améliorer les capacités de lecture ou à améliorer l'attention sélective [9].

L'objectif du projet StimSense est donc de mettre en place des exercices multisensoriels afin de mener des évaluations à long terme pour mesurer leurs bienfaits sur les personnes, en comparaison d'exercices classiques utilisant le clavier et la souris. Cet article synthétise la première partie du projet StimSense, à savoir la conception d'exercices multisensoriels.

La section 2 de ce papier présente l'état de l'art de notre travail qui est double. Après avoir discuté de l'intérêt de la multisensorialité pour la santé et de l'intérêt de l'interaction multisensorielle plus largement, nous nous intéressons d'une part aux outils multimodaux de stimulation cognitive et d'autre part aux systèmes multisensoriels. Cette section met en évidence un manque important : il n'existe pas de dispositif multisensoriel unique, pourtant nécessaire pour proposer des exercices multisensoriels et plus largement pour acquérir des connaissances sur les effets de l'interaction multisensorielle sur les utilisateurs. En effet, force est de constater que le manque évoqué par les chercheurs couvre une problématique bien plus vaste et générale que notre problématique de départ.

Nous proposons donc dans ce papier de répondre à ce manque, et donc à cette problématique plus vaste. La section 3 présente donc MulseBox, un dispositif multisensoriel qui permet de mettre en place des activités multisensorielles et écologiques. La section 4 présente une étude exploratoire que nous avons réalisée pour confronter notre dispositif à des utilisateurs et recueillir

les avis des participants. Enfin, la section 5 propose une discussion et conclut ce papier.

Ce papier apporte deux contributions importantes : un état de l'art qui montre l'importance de l'interaction multisensorielle dans le domaine de l'IHM et MulseBox un nouveau dispositif d'interaction multisensorielle.

L'intégralité de notre travail se base sur les résultats de la littérature qui indiquent que les exercices basés sur les Activités de la Vie Quotidienne utilisant des technologies multisensorielles sont naturellement capables d'assurer le transfert des acquis.

## 2 ETAT DE L'ART

### 2.1 Intérêt de la multisensorialité pour la santé

Les fonctions cognitives diminuent, de différentes manières, que ce soit dans le cadre du vieillissement normal ou de la démence, avec une variabilité physique, sensorielle et cognitive qui augmente avec l'âge [10]. Généralement on observe une diminution de la vitesse de traitement, des capacités d'attention, de la mémoire, du langage, des habilités et constructions spatiales et du fonctionnement exécutif [11]. Mener une vie active et participer à des activités intellectuelles, physiques et sociales semblent empêcher le déclin cognitif [11].

La multisensorialité a pour intérêt de proposer naturellement des compensations face à certains déclin. Par exemple, les personnes peuvent avoir des difficultés à voir ce qui apparaît sur les écrans [12][13] (problème de vue) ou peuvent perdre leur sensibilité pour les sons purs et les sons à haute fréquence et avoir des difficultés à localiser les sons [13] (problème d'audition) ou peuvent avoir une perte de dextérité manuelle ce qui les empêche d'utiliser une souris [14] ou de faire des mouvements rapides [13] (problème de toucher). Le déclin de la mémoire peut causer des problèmes plus subtils. Par exemple les gens peuvent avoir des difficultés à appliquer des procédures parce qu'ils ont du mal à se souvenir des séquences d'actions à faire ou parce qu'ils peuvent avoir des difficultés à comprendre les consignes à cause de messages oraux trop longs [12].

Il est alors conseillé de fournir des informations redondantes avec des modalités multiples et de limiter au maximum la charge en mémoire et le traitement cognitif [13].

### 2.2 Interaction multisensorielle

De manière générale, l'être humain, dès la naissance, évolue et se développe dans un monde multisensoriel. Ses

modalités sensorielles sont liées. Par exemple, si un sens est absent, cela impacte le développement des autres [15]. C'est le cas, par exemple, pour les personnes non-voyantes qui peuvent développer l'audition, le toucher, ou même, plus rarement, l'écholocalisation. Ce processus neurologique de développement multissensoriel s'appelle l'*intégration sensorielle* et est responsable du développement de l'attention, de la mémoire et du langage [8].

L'interaction multisensorielle est basée sur l'intégration sensorielle et est une Interaction Humain-Machine utilisant des périphériques qui vont agir sur l'environnement pour produire des effets sensoriels, par exemple du vent avec un ventilateur, de l'eau avec un vaporisateur, de la lumière avec une lampe, des mouvements avec un siège mobile, etc. L'objectif de l'interaction multisensorielle est de solliciter les sens de l'humain. Et, pour augmenter l'impact positif de la technologie sur l'humain, il faudrait utiliser positivement le plus de modalités sensorielles possibles [16].

L'interaction multisensorielle n'est pas réservée à une seule discipline ou à un seul champ d'application. Comme le montre notre schéma de synthèse (voir Figure 1), nous avons constaté que des disciplines différentes connaissent actuellement des mutations profondes liées à la technologie multisensorielle au point même que des disciplines changent de nom : Dix parle d'Interaction Humain-Technologie [17], Ghinea parle de Mulsemedia (Multiple Sensorial Media) [18], d'autres parlent de cinéma 4D, 7D, 9D, etc.

La recherche semble s'intéresser principalement aux 8 disciplines suivantes :

1. le mulsemedia [16][19][20][21][22][23][24][9][25][26][18][27][28][29],
2. la santé [8][6][30][31][7],
3. l'internet des objets [21][32][33][34],
4. le cinéma [35][36][32][37],
5. l'IHM [38][39][17],
6. l'éducation [40][15][41],
7. la réalité virtuelle [23][42][41],
8. la conception de produits [43].

Nous avons également observé deux objectifs communs à toutes ces disciplines :

- Améliorer la Qualité d'Expérience [29][20][22][27][16][24][9][25][31][18][28][40][21]
- Améliorer l'accessibilité (conception pour tous) [16][15][9][31][17][28][19]

Le mulsemedia, terme introduit par Gheorghita Ghinea en 2010, semble être la discipline la plus avancée dans la recherche sur les impacts de la multisensorialité sur les personnes [18][16]. « Les systèmes mulsemedia ont le potentiel d'utiliser les capacités perceptuelles et cognitives humaines plus efficacement car le cerveau humain évolue dans un environnement multisensoriel [9].

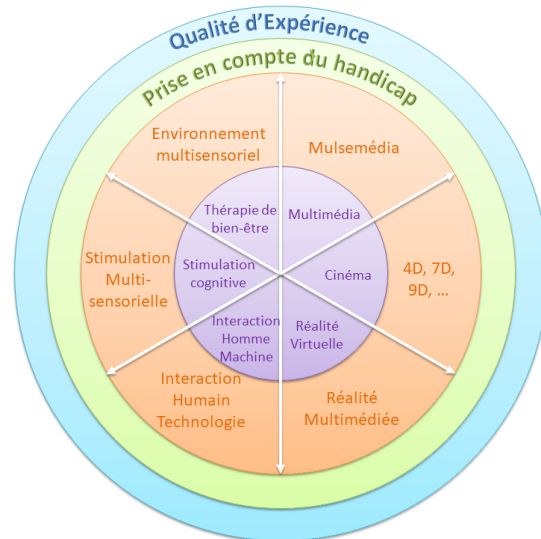


Figure 1 : Champs disciplinaires de la multisensorialité

### 2.3 Impact des effets sensoriels

Nous avons vu que, dans notre contexte, les effets sensoriels sont des artefacts produits par la technologie pour interagir avec les sens humains.

Les effets sensoriels peuvent avoir des impacts positifs sur les personnes. Par exemple, la musique peut affecter l'attention et le pouvoir de persuasion [9] ; la sensation du toucher dans l'air (*mid-air haptic*) peut aider à communiquer l'état émotionnel [38][44][45] ; et le toucher peut influencer l'évaluation des produits [9] et pousser aux achats spontanés [43].

La littérature montre que l'addition d'une seule modalité sensorielle à un système existant est déjà suffisant pour améliorer la perception de l'utilisateur [16] et pour augmenter le plaisir à interagir avec la technologie [40]. En effet, les effets sensoriels impliquent que les émotions (positives ou négatives) sont ressenties de façon plus forte [24][21].

Cependant, cela signifie que les effets sensoriels peuvent également avoir des impacts négatifs. Par exemple, dans le cinéma 4D, les picotements (*tickler*) sur les jambes ou l'eau aspergée sur le visage peuvent être mal vécus et associés à

une mauvaise expérience, trop invasive, allant jusqu'à empêcher les spectateurs de s'immerger dans le film [35].

Une mauvaise synchronisation entre le contenu audiovisuel et les effets sensoriels implique également une mauvaise expérience utilisateur [22][29][21], allant jusqu'à produire une perte de concentration et des émotions négatives [35]. Cette nécessaire synchronisation, appelée *cross-modal effects*, *correspondences*, ou *media integration* [18], découle directement de l'intégration sensorielle, et est de plus en plus étudiée afin de concevoir des interactions efficaces et d'augmenter l'engagement et l'immersion dans l'interaction [9][38].

Mais nous avons peu d'informations concernant les effets sensoriels. Hormis ce qui a déjà été cité précédemment, nous savons que les utilisateurs apprécient l'ajout d'effets de lumière à des contenus audiovisuels [24], et que parmi les effets haptiques, olfactifs, et de vents, le plus populaire semble être l'haptique, suivi par l'effet de vent [20]. Mais il faut être prudent avec ces résultats car ils dépendent du type d'effets utilisés et du contexte d'évaluation. Deux effets haptiques différents peuvent avoir des impacts différents.

Finalement les seules connaissances concrètes que nous avons dans ce domaine à l'heure actuelle, c'est que l'utilisation d'effets sensoriels a un impact, positif ou négatif, sur l'expérience utilisateur. Il reste beaucoup à étudier.

## 2.4 Recherches récentes et à venir

Les recherches récentes se focalisent presque exclusivement sur l'olfaction et le goût, qui constituent un défi important, puisque ce sont avant tout des sens subjectifs et chimiques. Plusieurs recherches démontrent leur importance pour créer des expériences utilisateurs plus riches [38][20][46]. Mais comme l'olfaction et le goût amplifient les perceptions sensorielles, ils peuvent avoir des impacts positifs mais également négatifs [39][44]. L'olfaction et le goût semblent alors être comme des variables qui viennent confirmer l'émotion principale de l'expérience vécue par l'utilisateur.

L'olfaction peut influencer la perception et la cognition [9], ce qui peut être positif ou négatif selon le contexte et être source « d'inconfort, de sympathie ou même de refus inconscient » [24]. Il est alors nécessaire de comprendre les limites à l'utilisation d'odeurs dans les interactions pour éviter les mauvaises expériences [20]. L'un des principaux problèmes soulevés par la littérature est le fait que l'odeur reste un long moment dans l'atmosphère, bien

après l'action associée [35], et que les utilisateurs peuvent se lasser rapidement de ce type de stimulation car cela provoque des contradictions dans leurs différentes perceptions [16].

Concernant le goût, les informations sont plus rares car il est compliqué de mettre en place des expérimentations puisqu'elles sont jugées invasives et hygiéniquement douteuses. En effet, pour stimuler le goût, il est nécessaire de stimuler directement les récepteurs de la langue [39][47] avec des stimulations chimiques, électriques et thermiques [9].

Enfin, les recherches se focalisent presque toutes sur les cinq sens traditionnels (la vue, l'ouïe, le toucher, l'olfaction, le goût) [24][9][25]. Et nous manquons actuellement de connaissances concernant les autres sens [9], qui impliquent le corps entier et qui sont importants pour l'entraînement ou la réhabilitation des fonctions cognitives, la rééducation, le niveau de santé générale, les infirmités, etc. Nous pensons, à l'équibrioception (sens de l'équilibre), la kinesthésie (conscience de nos mouvements), la noniception (sens de la douleur), la proprioception (perception de la position et du mouvement de notre corps), la thermoception (perception de la température), la perception temporelle, et la perception viscérale (conscience de l'intérieur de notre corps).

Les utilisateurs peuvent tirer un vrai bénéfice à interagir avec des systèmes qui engagent leur corps entier en leur permettant de rester debout et de se mouvoir [23][15].

## 2.5 Outils de stimulation cognitive pour les personnes âgées

Le Tableau 1 présente les systèmes de stimulation cognitive multimodaux issus de la littérature, donc permettant de proposer une interaction multisensorielle. Nous avons exclu les systèmes qui utilisent le clavier et la souris et tous ceux qui ont une autre cible que les personnes âgées, passant de 100 papiers à 16 papiers.

Nous observons que les sens pouvant être stimulés dans ces systèmes sont la vue, l'ouïe, le toucher et les sens liés au corps (en demandant à l'utilisateur de bouger et de faire des actions). Ces systèmes ne sont pas généraux et sont proposées avec des activités fixes sans possibilité de développer de nouvelles activités.

Enfin, la plupart de ces systèmes sont téléonomiques, hypertéliques et abstraits au sens de Simondon [48]. Cela signifie qu'il n'est pas possible d'utiliser ces systèmes dans un autre contexte que celui pour lequel ils ont été prévus.

Ils proposent des exercices de stimulation cognitive à un bas niveau d'abstraction, ce qui fait que les gains ne sont pas transférables à des situations de vie quotidienne, comme expliqué dans l'introduction.

Tableau 1 : Exemple de systèmes de stimulation cognitive

Nom	Périphériques	Activité	Ref
Aware-Puzzles	Objets tangibles, écran multi-touch, table tangible	Puzzle, Tangram	[49]
Balade à l'EHPAD	Bouton, vélo, projecteur, haut-parleur	Vélo sur console	[50]
Co-Brain Training Tool & AlzGame	NFC, écran multi-touch, projecteur, haut-parleur	Formes et images concordantes	[51]
TraInAb	Interface tangible, RFID, objets tangibles, projecteur, haut-parleur	Jeu de mémoire, arithmétique, audition	[52]
Dual-Task Tai Chi	Kinect, écran	Tai chi sur console, sudoku	[53]
E-CoRe	Objets tangibles, camera stéréo, capteur tactile, interface tangible	Fabrication de biscuits	[54]
Eldergames	Interface tangible	Jeu de mémoire, appariement de cartes	[53]
Gradior	Souris, écran tactile, Wiimote, Wii Balance Board, haut-parleur	Jeu de randonnées sur console	[55]
Kimentia	Kinect, Ecran	Jeu de mémoire, de mots	[56]
NA	TV + télécommande	Choix multiple, écriture	[57]
Name That Tune	Bouton, haut-parleur, écran, robot social d'assistance	Jeu de musique	[58]
Cognitive AR cube system	Ecran tactile, cubes	Mots, correspondance de formes	[59]
NA	Objets tangibles, camera, robot social d'assistance	Jeu de cartes	[60]
NA	Joystick, casque de visio, haut-parleur	Orientation, mobilité assistée par RV	[61]
HERMES	Caméra, Microphone, Capteurs, écran multi-touch, haut-parleur	Labyrinthe, cascade	[62]
StimCards	Cartes de jeu, caméra, microphone, écran, robot, haut-parleur	Jeu de quiz par carte	[63]
Hot Plus	Capteurs (bandes, tapis), haut-parleur, TV	Jeu de sports	[64]

## 2.6 Systèmes d'interaction multisensorielle

Le Tableau 2 présente 11 systèmes conçus pour proposer une expérience multisensorielle aux utilisateurs. Ils sont tous composés de plusieurs dispositifs qui communiquent

les uns avec les autres. La multisensorialité est atteinte par la collaboration entre différents dispositifs qui utilisent souvent un seul sens. Il n'existe aucun dispositif unique qui soit multisensoriel (voir également [9]). Nous remarquons également que l'olfaction est à peine explorée et le goût pas du tout.

Tableau 2 : Exemple de systèmes multisensoriels

Système	Périphériques composant les systèmes	Ref
Banc d'essai d'apprentissage	Ordinateur, souris vibrante, casque, ventilateur, diffuseur d'odeur	[40]
Architecture de distribution	Ordinateur, diffuseur d'odeur, veste haptique, ventilateur USB	[20]
Architecture IoT	Raspberry PI, ventilateur, vaporisateur d'ambiance, bande de DEL RGB, vibreur	[21]
Système musical	Environnement de réalité augmentée avec cameras, lunettes/casques et objets tangibles	[23]
PlaySEM	Mini PC, écran, 2 ventilateurs, moteurs vibrants, bande DEL, Arduino	[25]
Low-cost 4D	Dispositif de contrôle, ventilateurs, ampoules, climatiseur, vaporisateur	[32]
Smart spaces	Passerelle, lumières d'ambiance, son, tapis lumineux, capteur de présence et de proximité, capteur de couleurs et de niveaux de lumière, capteur de qualité d'air	[31]
SEVino + SESim	Ordinateur, lumières, ventilateurs, générateur de brouillard, haut-parleurs, vibreurs, climatisation, pulvérisateur d'eau, stores de fenêtres, parfumeurs	[27]
Application multisensorielle	Ordinateur, objets dans video, objets dans une pièce (rideau, lumière)	[28]
Périphérique Mid-Air Haptic	Ecran, périphérique Shimmer2 GSR	[37]
Projet WeDraw	Architecture qui a pour objectif de connecter ensemble des périphériques d'entrées/sorties différents.	[15]

La moitié de ces systèmes proposent des architectures informatiques permettant de connecter différents périphériques ensembles [21][31][15] ou des systèmes permettant de créer rapidement des médias multisensoriels [32][28][27]. Les évaluations de ces outils se focalisent sur la fiabilité, la transmission des données, le stockage et la synchronisation des effets sensoriels. Un des papiers a pour objectif d'évaluer le *Mid-Air Haptics*, un dispositif qui permet une interaction sans contact [37].

Les autres travaux ont pour objectif d'évaluer l'expérience utilisateur [20][40][23][25][37]. Mais pour y parvenir, les auteurs ont dû préalablement créer une architecture informatique pour connecter différents périphériques ensembles. C'est une activité importante mais qui prend beaucoup de temps et qui détourne de l'objectif initial : comprendre comment maximiser l'expérience utilisateur.

## 2.7 Besoins soulevés par la littérature

Comme le montrent le Tableau 1 et le Tableau 2, les systèmes existants sont complexes puisque constitués de plusieurs dispositifs différents [26], et cela justifie le besoin de créer des architectures informatiques [31]. Ainsi, les recherches actuelles se focalisent « sur la possibilité pratique d'incorporer des dispositifs numériques dans les applications » [20], plutôt que sur l'étude du fonctionnement du cerveau afin de produire des recommandations pour une conception d'applications multisensorielles efficaces. Il nous semble nécessaire d'acquérir plus de connaissances sur l'humain pour améliorer l'Interaction Humain-Machine et ainsi améliorer la Qualité d'Expérience.

De plus, les chercheurs soulignent le manque d'un dispositif multisensoriel unique sur le marché avec lequel travailler [9], et avec lequel il serait possible de définir « une *Killer Application* » [24] afin de travailler sur des cas d'utilisation communs.

Concernant le projet StimSense, il n'existe donc pas de plateforme informatique nous permettant de créer des exercices multisensoriels simplement et sans connaissance en informatique, ce qui est nécessaire pour que le personnel soignant s'approprie le système. Lors du précédent projet, Robadom, nous avons fourni une plateforme de type *plug&play* [65] aux personnels soignants du laboratoire LUSAGE qui avaient trouvé ce système trop compliqué et préféraient l'idée d'un objet unique transportable pour faire les premières évaluations. C'est la raison pour laquelle nous proposons dans un premier temps de créer un objet simple pour pouvoir étudier l'apport de la multisensorialité dans la stimulation cognitive.

## 3 MULSEBOX

### 3.1 Objectifs

Le travail présenté ici se base sur les résultats de la littérature qui indiquent que l'interaction multisensorielle améliore les performances neuropsychologiques. Et comme l'ont indiqué l'introduction et l'état de l'art, les chercheurs et les utilisateurs ont besoin d'un dispositif multisensoriel unique et portable, qui permet de simuler des situations de la vie quotidienne en stimulant le plus de sens possibles (intéroceptifs et extéroceptifs).

Notre projet compte deux types d'utilisateurs finaux : les personnes qui vont définir les activités (médecins, thérapeutes, aidants, familles, chercheurs, etc.) et les

personnes qui vont effectuer des activités (patients, élèves, apprenants, participants, etc.).

### 3.2 Processus de conception

La conception a été réalisée par une équipe composée de médecins, d'ergonomes, de psychologues, de spécialistes en IHM, d'ingénieurs, et d'utilisateurs finaux. Les utilisateurs ont été impliqués à toutes les étapes de la conception. Les spécifications de départ ont été définies par l'équipe soignante au regard de leur pratique avec des patients atteints de troubles cognitifs. Un premier prototype a été discuté en laboratoire et validé d'un point de vue technique et ergonomique. Un deuxième prototype, proposant une activité de prise de bus (décrit dans la suite de la section), a été testé et évalué auprès d'un médecin et d'une équipe de 3 personnes âgées, membres d'une association d'expertise de nouveaux objets technologiques. Chaque personne a testé l'activité. Le prototype et le scénario ont été validés par les 4 participants. Il s'en est suivi une discussion qui a été qualitativement analysée afin de trouver des pistes d'amélioration du prototype. La troisième version, qui est présentée dans ce papier, a été testée par environ une centaine de personnes dans différents salons professionnels avec l'activité présentée dans la section 4.2. Elles ont toutes montré un intérêt et un enthousiasme pour le dispositif.

### 3.3 Concept général : création de nouveaux percepts

Notre dispositif, MulseBox, est un objet dont l'encombrement (30 cm x 30 cm x 7 cm) se veut le plus proche possible d'un ordinateur portable afin d'être facilement transportable dans un sac d'ordinateur pour ne pas changer les habitudes des utilisateurs. MulseBox a pour objectif de créer des nouveaux percepts de stimulation. D'une part, il utilise des perceptions directes. Comme le montre la Figure 2, il est composé de 4 boutons, 6 diodes, un ventilateur, un écran de 5 pouces, 2 capteurs ultrasons, 2 vibreurs, 2 haut-parleurs, et un lecteur RFID. Le toucher est stimulé par les boutons, les vibreurs, et le ventilateur. La vue est stimulée par l'écran et les diodes, l'ouïe par les haut-parleurs et les vibreurs, le corps par les capteurs ultrasons et le lecteur RFID. Les deux capteurs ultrasons permettent de proposer des exercices avec les deux mains (par exemple des exercices de percussion). Les haut-parleurs, les capteurs ultrasons et les vibreurs fonctionnent par paire pour pouvoir produire des stimuli spatialisés. D'autre part, MulseBox utilise des perceptions indirectes en proposant de simuler des outils de la vie quotidienne tels que des distributeurs de billets, des

distributeurs automatiques, des systèmes de paiement, des smartphones, etc. Enfin, le lecteur RFID permet à l'utilisateur d'interagir à l'aide d'objets réels de la vie quotidienne contenant une étiquette RFID. Si nous imaginons une activité expliquant comment prendre un bus, nous pouvons utiliser une fausse carte de transport (avec une étiquette RFID). Dans ce cas, l'utilisateur doit la placer devant le lecteur RFID, en reproduisant le geste réel pour valider le titre de transport.

MulseBox est contrôlé par un Raspberry Pi 3 et une carte Arduino qui peuvent manipuler tous les composants et jouer des activités préenregistrées.

MulseBox contient les composants les plus utilisés dans la littérature et ne contient pas les éléments qui ne sont pas assez matures, comme la reconnaissance vocale, le goût et l'odorat ou qui ne font pas consensus comme les picotements ou la diffusion d'eau. Un dispositif générique ne peut pas se permettre de proposer une interaction avec un élément qui peut dégrader l'expérience de l'utilisateur.

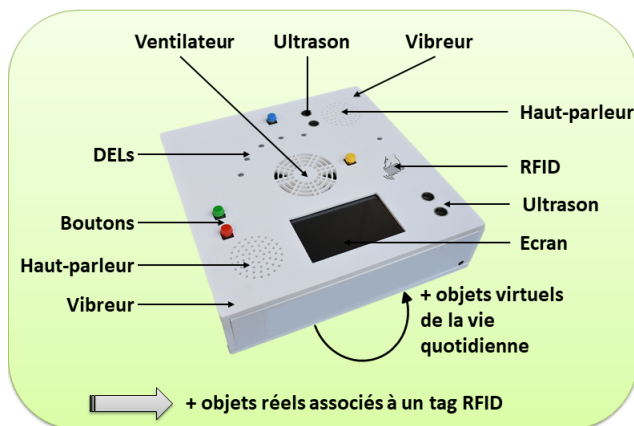


Figure 2 : Composition de MulseBox

### 3.4 Exemples d'activités multisensorielles

Les activités possibles sont diverses et nombreuses. La première activité que nous avons créée et testée sur le dispositif plaçait l'utilisateur dans un scénario où il devait prendre le bus pour aller au supermarché. Nous utilisons les vibreurs pour annoncer l'arrivée d'un bus, le haut-parleur pour diffuser le son du moteur, le lecteur RFID pour valider le titre de transport, l'écran pour afficher le prochain arrêt, la diode isolée, en rouge, lorsque l'utilisateur avait appuyé sur le bouton pour descendre au prochain arrêt, le ventilateur lorsque la porte du bus était ouverte. MulseBox est une boîte à outil que l'on peut utiliser dans n'importe quel contexte. Certains l'imaginent pour apprendre le français langue étrangère en plaçant l'apprenant dans des situations de vie réelle, pour créer

des activités pour des personnes en situation de handicap, pour proposer des exercices de stimulation cognitive, pour aider les élèves en échec scolaire ou au parcours atypique, pour proposer des jeux de questions/réponses, pour s'entraîner aux rythmes musicaux, pour du storytelling, etc.

Nous pouvons aussi l'imaginer pour apprendre à mettre en marche un système d'alarme, pour tester un manuel utilisateur, pour apprendre à utiliser une machine industrielle. Les questions peuvent être posées avec plusieurs sens. Quel est le diagnostic si la machine fait ce bruit ? Quel est l'état de la machine lorsque ces lumières s'allument ? Est-ce que cette vibration indique un démarrage normal ?

### 3.5 Choix de conception

**Ecran** – L'écran est volontairement petit et décentré afin de minimiser son importance et d'orienter les créateurs vers de nouvelles interactions avec des composants inhabituels.

**Spatialisation** – Comme vu précédemment, nous avons positionné les haut-parleurs, les vibreurs et les capteurs ultrasons de manière à permettre de spatialiser les stimuli car cela apporte des bénéfices cognitifs. Par exemple, une longue stimulation auditive de 5 Hz augmente la capacité de la mémoire verbale immédiate [66], et un son binaural peut réduire le niveau d'anxiété et améliorer l'humeur [67]

**Dissymétrie** – Notre dispositif doit se détourner des règles classiques d'ergonomie car ses objectifs sont différents de ceux des interfaces classiques. Par exemple, un haut niveau de symétrie a des effets significatifs sur l'esthétique visuelle perçue et sur les performances des utilisateurs [68][69] parce que le cerveau n'a pas besoin d'analyser l'interface complète et peut créer des raccourcis. Dans un contexte symétrique, si l'utilisateur comprend la moitié de l'interface, alors il comprend toute l'interface. Et dans ce cas, la charge mentale est minimale et cela augmente le confort perçu. De plus, les interfaces classiques sont conçues pour s'assurer que chaque objet ou composant est toujours utilisé de la même manière afin d'utiliser des automatismes [70]. Dans notre contexte, les utilisateurs doivent réfléchir, être pleinement concentrés, manipuler leurs fonctions cognitives. Leur cerveau doit être entraîné et il est donc nécessaire d'éviter les habitudes, les raccourcis et les automatismes, et de créer surprise et curiosité. C'est la raison pour laquelle notre box est asymétrique.



**Boutons** – MulseBox contient 4 boutons. Comme le montre la Figure 2, il y a deux boutons jumelés (en vert et rouge sur la figure). Ils peuvent exprimer des données binaires telles que vrai/faux, gauche/droite, avant/après, etc. Un bouton est placé près du ventilateur et de l'écran pour donner la possibilité de l'associer à ces composants. Ce bouton peut également être utilisé pour les jeux de réflexe car il est quasiment au milieu du dispositif. Enfin, un bouton est complètement isolé de façon à être utilisé comme un bouton de contrôle. Il peut démarrer une activité, demander à répéter la dernière instruction, stopper une activité, etc. Enfin, l'existence de deux boutons distants peut aider les personnes qui souffrent de problèmes moteurs fins [71].

**Diodes** – Le dispositif contient 6 diodes RGB. Une des diodes est complètement isolée afin de servir de diode de contrôle. Par exemple, elle peut permettre de valider une action (couleur verte), d'indiquer qu'une action est en cours (couleur orange) ou d'informer d'une erreur (couleur rouge), etc. Les cinq autres diodes sont alignées sur un cercle ayant le même centre que celui du ventilateur. Cet alignement suggère que les diodes sont corrélées. Leur proximité avec le ventilateur permet de les y associer si nécessaire. Les diodes peuvent aussi être utilisées ensemble comme une jauge de temps ou de quantité, ou pour simuler un processus d'association, etc. Nous avons choisi un nombre impair de diodes pour pouvoir exprimer une moitié ou une indécision.

**Espaces blancs et marge** – L'existence d'une petite marge (2.5 cm tout autour de la surface) est importante pour reposer les yeux et pour souligner la transition avec les autres objets de l'environnement. Il est important d'avoir une frontière distincte. La Figure 2 montre un espace vide en haut à gauche dont l'objectif est d'alléger la surface et d'éviter la symétrie. Enfin, la surface du dispositif est blanche pour éviter les distractions [71].

**Composants cachés** – Certains composants sont cachés afin d'alléger la surface du dispositif. C'est le cas des haut-parleurs, du ventilateur, des vibreurs et du lecteur RFID. Les capteurs ultrasons sont positionnés au ras de la surface de manière à éviter de les confondre avec les boutons.

### 3.6 Orientations et configurations multiples

Comme vu précédemment, nous avons conçu MulseBox pour éviter les automatismes, sans symétrie et sans orientation spécifique. La Figure 3 montre que le dispositif peut être placé dans les quatre différentes orientations pour varier les mouvements de l'utilisateur et

éviter les habitudes. Mais dans chaque orientation, il y a des éléments constants. Pour permettre la spatiation, les haut-parleurs sont toujours de chaque côté du dispositif, un toujours en haut et l'autre toujours en bas, l'un toujours à droite et l'autre toujours à gauche, c'est également le cas pour les vibreurs. Les ultrasons sont également toujours positionnés de part et d'autre du dispositif mais restent toujours sur la même ligne. Ils sont donc en bas et en haut, ou à gauche et à droite, mais sans croisement. Le ventilateur est toujours centré et aligné sur le visage de l'utilisateur.

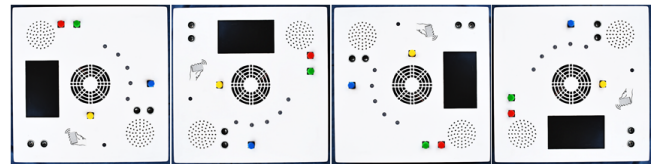


Figure 3 : Plusieurs orientations possibles

Il est important de stimuler les sens à travers le corps entier autant que possible. Avec un seul dispositif, l'utilisateur est statique parce qu'il reste debout sans bouger (Figure 4, partie a). Notre objectif est de créer du mouvement, de créer de la spatiation. Pour cela, il suffit de placer deux ou quatre dispositifs à différents emplacements pour avoir des interactions gauche-droite (Figure 4, partie b) ou gauche-droite-devant-derrrière (Figure 4, partie c). Cela force les utilisateurs à bouger d'un dispositif à l'autre, à chercher des éléments à différents emplacements et donc à bouger la tête et le corps.

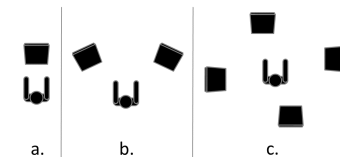


Figure 4 : Plusieurs configurations possibles

Chaque dispositif est placé sur un pupitre (de musicien) pour pouvoir adapter la hauteur et l'inclinaison en fonction de la taille de l'utilisateur.

## 4 ETUDE EXPLORATOIRE

### 4.1 Contexte

Nous avons profité de la présentation de MulseBox (voir Figure 5) pendant le R&T day 2018, un salon « Recherche & technologie », qui s'est déroulé à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris pour interroger des participants et connaître leur avis sur le dispositif. Le salon a reçu la visite de 400 personnes (dont 230 personnes venant de 180

entreprises). Nous avons conçu une activité et un questionnaire de recueil d'avis en prenant en compte les contraintes suivantes : environnement bruyant, temps de participation limité, participants non isolés et soumis au regard des autres, environnement distrayant, salon ayant pour thème la cognition.



Figure 5 : Stand de présentation de MulseBox sur le salon

#### 4.2 Activité proposée

En tenant compte des contraintes précédentes, nous avons décidé d'adapter le test de Stroop [72] dont l'objectif est initialement d'évaluer l'attention sélective. Ce test était intéressant dans notre contexte parce qu'il concerne la cognition (le thème du salon) et qu'il est capable de réduire les distractions (une des contraintes du salon) [73]. De plus ce test demande beaucoup de ressources cognitives ce qui est important pour nous puisque notre travail est basé sur le fait que l'interaction multisensorielle améliore les performances neuropsychologiques.

Nous avons créé un jeu de Stroop avec 5 niveaux de difficultés séparés par des perturbations. Une partie durait au maximum 90 secondes. Au vu du contexte bruyant, le jeu n'utilisait ni son ni reconnaissance vocale. L'utilisateur devait interagir avec les mains seulement (voir Figure 6). A la fin du jeu, le participant pouvait voir le nombre de bonnes réponses données.

Les participants devaient appuyer sur le bouton dont la couleur correspondait à une couleur affichée à l'écran (couleur d'un mot, d'un objet, de l'écran seul, etc.). Quand une perturbation apparaissait (les lumières s'allumaient pendant 3 secondes), le participant devait placer sa main sur le capteur ultrason pour stopper la perturbation. Dans le cas contraire, le jeu était perdu et s'arrêtait.



Figure 6 : Exemple d'une partie en cours

#### 4.3 Participants

Pendant le salon, 39 participants ont accepté de remplir le questionnaire après avoir joué une partie. Nous avons retiré 6 questionnaires parce que les participants n'avaient pas répondu à toutes les questions. Ainsi, 33 participants ont participé à notre recueil d'avis : 10 femmes et 23 hommes, âgés de 23 à 68 ans (moyenne : 39.84 ; écart-type : 13.60).

La familiarité perçue était notée entre 0 et 4 (entre non familier et très familier). Les participants se sont plutôt perçus comme étant des experts (moyenne : 3.15 ; médiane : 3.15 ; écart-type : 1). La réponse la plus fréquemment donnée était « très familier ». Les participants comptaient 48.5% de programmeurs et 33.3% de gamers.

Deux tiers des participants avaient une activité professionnelle, tandis que 27.3% étaient des étudiants. Les autres n'ont pas précisé leur activité. Plus de la moitié (51.5%) avait un niveau Doctorat, 30.3% un niveau Master et 15.2% un niveau Licence. Les autres n'ont pas précisé leur niveau d'étude.

#### 4.4 Recueil d'avis

Le questionnaire était composé de deux parties : « Donnez-nous votre avis » et « Parlez-nous de vous ».

La partie « Parlez-nous de vous » avait pour objectif de comprendre le profil du participant (genre, âge, niveau académique, statut professionnel, niveau de familiarité avec la technologie) et à savoir si les participants avaient regardé la vidéo de présentation du stand.

La partie « Donnez-nous votre avis » était composée de 12 questions dont les réponses se situaient sur une échelle de Likert (pas du tout, plutôt pas, neutre, plutôt, tout à fait). Les questions étaient les suivantes :

1. MulseBox vous a-t-il stimulé ?
2. Aimerez-vous pouvoir l'utiliser plus longtemps ?

3. Pouvez-vous imaginer MulseBox pour réaliser d'autres activités ?
4. MulseBox est-il facile à prendre en main ?
5. Pensez-vous que MulseBox est une perte de temps ?
6. Avez-vous ressenti du plaisir à utiliser MulseBox ?
7. Avez-vous eu le sentiment de tâches trop complexes ?
8. Avez-vous été stimulé par la présence du score ?
9. MulseBox vous paraît-il fragile ?
10. L'esthétique de MulseBox vous plaît-il ?
11. Pensez-vous que MulseBox peut s'utiliser à tous les âges ?
12. Pensez-vous que MulseBox peut être utilisé à des fins thérapeutiques ?

Le Tableau 3 et la Figure 7 montrent les réponses qui ont été données à ces 12 questions. Les questions 5, 7 et 9 ont été inversées. Toutes les questions ont obtenu une majorité de réponses positives sauf la question 2 et 10. Nous observons que 4 questions ont obtenu une proportion importante de réponses négatives : les questions 2, 8, 9, et 10.

Tableau 3 : Nombre de réponses données par question

Question	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tout à fait	10	4	5	18	16	4	17	7	4	1	18	18
Plutôt	18	7	15	13	9	21	9	13	12	5	13	11
Neutre	4	17	11	2	7	6	5	4	9	13	2	4
Plutôt pas	1	5	2	0	1	2	2	5	8	11	0	0
Pas du tout	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0

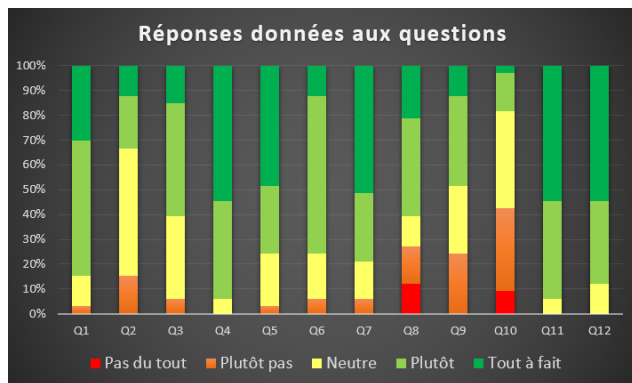


Figure 7 : Distribution des réponses aux questions

#### 4.5 Discussion

La section précédente montre que quatre questions sont à discuter car elles ont obtenu un grand nombre de réponses négatives.

La question 2 a obtenu une majorité de réponses neutres ce qui semble normal, l'objet étant inconnu, il est difficile de se projeter avec.

La question 8 comporte des réponses négatives malgré une majorité de réponses positives. Et ceci est très intéressant car cela veut dire que des participants n'ont pas été stimulés par le score mais l'ont bien été par le dispositif puisque la question 1 a eu très peu de réponses négatives.

La question 9 comporte également des réponses positives et négatives. Ce qui est intéressant ici c'est de constater qu'une majorité de personnes n'ont pas trouvé que le dispositif était fragile, donc ont eu confiance dans le dispositif, alors qu'il s'agit d'un prototype. Cela est très encourageant pour la suite du projet.

La question 10 est la question la moins bien notée. Les goûts étant répartis équitablement dans la population, il apparaît normal que l'esthétique ne plaise pas à tout le monde. Cependant, même si la majorité des réponses sont neutres, une grosse proportion de participants n'a pas aimé l'esthétique. Il faudra donc retravailler ce point.

## 5 CONCLUSION

Ce papier a présenté deux contributions principales. Premièrement, il a montré un nouveau paysage de la recherche avec l'émergence de 8 disciplines différentes dans le domaine de l'interaction multisensorielle. Il a également montré que deux problématiques sont transversales à ces disciplines : l'augmentation de la Qualité d'Expérience et la conception pour tous (accessibilité).

Deuxièmement, ce papier présente un nouveau dispositif numérique multisensoriel, nommé MulseBox, qui permet à l'utilisateur d'interagir en utilisant plusieurs sens et pouvant être utilisé par plusieurs disciplines. Ce dispositif est conçu pour sortir du cadre des interfaces classiques. Il est asymétrique et utilise des composants non conventionnels car son objectif est de faire travailler le cerveau. Il évolue également car il peut être enrichi par des objets de la vie quotidienne réels et virtuels. Ainsi, MulseBox peut être adapté à plusieurs contextes et peut être utilisé dans les travaux futurs de plusieurs disciplines pour résoudre les problèmes identifiés dans la littérature. Tout est maintenant à imaginer.

Les résultats de notre recueil d'avis sont vraiment prometteurs. Ainsi, cela nous encourage à poursuivre notre projet. À titre de perspectives, nous allons d'abord travailler sur une quatrième version avec une esthétique moderne arrondie et mince (comme celle des tablettes ou smartphones). Deuxièmement, nous concevons une évaluation en laboratoire pour étudier en profondeur MulseBox. Troisièmement, nous allons créer un logiciel qui permet de créer des activités sans programmation. Enfin, nous aimerions poursuivre la mise en place de nouveaux percepts d'interaction et aller plus loin que les concepts classiques que sont la 3D pour la vue ou les vibreurs pour le toucher.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions l'université Paris 8 qui a financé le matériel pour construire le dispositif, les membres du laboratoire LUSAGE (Hôpital Broca) pour avoir participé à la conception du dispositif et aux évaluations préliminaires, et à Omar El Barraï et Thomas Gargot pour avoir aidé les participants à remplir les questionnaires.

## RÉFÉRENCES

- [1] L. P. de Andrade, L. T. B. Gobbi, F. G. M. Coelho, G. Christofolletti, J. L. Riani Costa, and F. Stella, "Benefits of Multimodal Exercise Intervention for Postural Control and Frontal Cognitive Functions in Individuals with Alzheimer's Disease: A Controlled Trial," *J. Am. Geriatr. Soc.*, vol. 61, no. 11, pp. 1919–1926, Nov. 2013.
- [2] M. L. Onor, M. Trevisiol, C. Negro, S. Alessandra, M. Saina, and E. Aguglia, "Impact of a Multimodal Rehabilitative Intervention on Demented Patients and Their Caregivers," *Am. J. Alzheimer's Dis. Other Dementias*, vol. 22, no. 4, pp. 261–272, Aug. 2007.
- [3] V. Wojtasik, F. Lekeu, A. Quittre, C. Olivier, S. Adam, and É. Salmon, "Réadaptation cognitive pour les activités de vie quotidiennes dans la maladie d'Alzheimer," *Gérontologie et société*, vol. 32 / n° 130, no. 3, p. 187, 2009.
- [4] S. T. Farias, E. Harrell, C. Neumann, and A. Houtz, "The relationship between neuropsychological performance and daily functioning in individuals with Alzheimer's disease: ecological validity of neuropsychological tests," *Arch. Clin. Neuropsychol.*, vol. 18, no. 6, pp. 655–672, Aug. 2003.
- [5] B. Bouchard, F. Imbeault, A. Bouzouane, and B.-A. J. Menelas, "Developing Serious Games Specifically Adapted to People Suffering from Alzheimer," Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 243–254.
- [6] S. Baillon, E. van Diepen, and R. Prettyman, "Multi-sensory therapy in psychiatric care," *Adv. Psychiatr. Treat.*, vol. 8, no. 6, pp. 444–450, Nov. 2002.
- [7] J. C. Chung and C. K. Lai, "Snoezelen for dementia," *Cochrane Database Syst. Rev.*, no. 4, Oct. 2002.
- [8] R. Casillas Figueroa, "Personal spaces for multisensory stimulation as support to rehabilitate patients with cognitive disabilities," in *Proceedings of the XVIII International Conference on Human Computer Interaction - Interacción '17*, 2017, pp. 1–2.
- [9] A. Covaci, L. Zou, I. Tal, G.-M. Muntean, and G. Ghinea, "Is Multimedia Multisensorial? - A Review of Mulsemedia Systems," *ACM Comput. Surv.*, vol. 51, no. 5, pp. 1–35, 2018.
- [10] P. Gregor, A. F. Newell, and M. Zajicek, "Designing for dynamic diversity," in *Proceedings of the fifth international ACM conference on Assistive technologies - Assets '02*, 2002, p. 151.
- [11] C. N. Harada, M. C. N. Love, and K. L. Triebel, "Normal cognitive aging," *Clin. Geriatr. Med.*, vol. 29, no. 4, pp. 737–752, 2013.
- [12] M. Zajicek and Mary, "Interface design for older adults," in *Proceedings of the 2001 EC/NSF workshop on Universal accessibility of ubiquitous computing providing for the elderly - WUAUC'01*, 2001, p. 60.
- [13] W. Ijsselstein, H. H. Nap, Y. de Kort, and K. Poels, "Digital game design for elderly users," in *Proceedings of the 2007 conference on Future Play - Future Play '07*, 2007, p. 17.
- [14] N. Walker, J. Millians, and A. Worden, "Mouse Accelerations and Performance of Older Computer Users," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 40, no. 3, pp. 151–154, Oct. 1996.
- [15] S. Price, S. Duffy, and M. Gori, "Developing a pedagogical framework for designing a multisensory serious gaming environment," in *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI International Workshop on Multimodal Interaction for Education - MIE 2017*, 2017, pp. 1–9.
- [16] Y. Sulema, "Mulsemedia vs. Multimedia: State of the art and future trends," in *2016 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, 2016, pp. 1–5.
- [17] A. Dix, "Human-computer interaction, foundations and new paradigms," *J. Vis. Lang. Comput.*, vol. 42, pp. 122–134, Oct. 2017.
- [18] G. Ghinea and O. Ademoye, "A user perspective of olfaction-enhanced mulsemedia," in *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems - MEDES '10*, 2010, p. 277.
- [19] R. Kannan, S. R. Balasundaram, and F. Andres, "The role of mulsemedia in digital content ecosystem design," in *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems - MEDES '10*, 2010, pp. 264–266.
- [20] Z. Yuan, G. Ghinea, and G.-M. Muntean, "Quality of experience study for multiple sensorial media delivery," in *2014 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2014, pp. 1142–1146.
- [21] L. Jalal, V. Popescu, and M. Murrioni, "IoT architecture for multisensorial media," in *2017 IEEE URUCON*, 2017, pp. 1–4.
- [22] Z. Yuan, T. Bi, G.-M. Muntean, and G. Ghinea, "Perceived Synchronization of Mulsemedia Services," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 17, no. 7, pp. 957–966, Jul. 2015.
- [23] Z. Zhiying Zhou et al., "Multisensory musical entertainment systems," *IEEE Multimed.*, vol. 11, no. 3, pp. 88–101, Jul. 2004.
- [24] G. Ghinea, C. Timmerer, W. Lin, and S. R. Gulliver, "Mulsemedia: State of the Art, Perspectives, and Challenges," *ACM Trans. Multimed. Comput. Commun. Appl.*, vol. 11, no. 1s, pp. 1–23, Sep. 2014.
- [25] E. B. Saleme and C. A. S. Santos, "PlaySEM: a Platform for Rendering MulSeMedia Compatible with MPEG-V," in *Proceedings of the 21st Brazilian Symposium on Multimedia and the Web - WebMedia '15*, 2015, pp. 145–148.
- [26] E. B. Saleme, C. A. S. Santos, and G. Ghinea, "Coping with the Challenges of Delivering Multiple Sensorial Media," *IEEE Multimed.*, pp. 1–1, 2018.
- [27] M. Waltl, C. Timmerer, and H. Hellwagner, "A test-bed for quality of multimedia experience evaluation of Sensory Effects," in *2009 International Workshop on Quality of Multimedia Experience*, 2009, pp. 145–150.
- [28] M. Josué et al., "Modeling sensory effects as first-class entities in multimedia applications," in *Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference on - MMSys '18*, 2018, pp. 225–236.
- [29] L. Jalal and M. Murrioni, "Enhancing TV broadcasting services: A survey on mulsemedia quality of experience," in *2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, 2017, pp. 1–7.
- [30] R. Baker et al., "Effects of multi-sensory stimulation for people

- with dementia,” *J. Adv. Nurs.*, vol. 43, no. 5, pp. 465–477, Sep. 2003.
- [31] G. Agosta *et al.*, “Playful Supervised Smart Spaces (P3S) -- A Framework for Designing, Implementing and Deploying Multisensory Play Experiences for Children with Special Needs,” in *2015 Euromicro Conference on Digital System Design*, 2015, pp. 158–164.
- [32] Y.-B. Lin, M.-T. Yang, and Y.-W. Lin, “Low-Cost 4D Experience Theater Using Home Appliances,” *IEEE Trans. Multimed.*, pp. 1–1, 2018.
- [33] M. Conti, A. Dehghantanha, K. Franke, and S. Watson, “Internet of Things security and forensics: Challenges and opportunities,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 78, pp. 544–546, Jan. 2018.
- [34] G. Kokkonis, K. E. Psannis, M. Roumeliotis, and D. Schonfeld, “Real-time wireless multisensory smart surveillance with 3D-HEVC streams for internet-of-things (IoT),” *J. Supercomput.*, vol. 73, no. 3, pp. 1044–1062, Mar. 2017.
- [35] E. Oh, M. Lee, and S. Lee, “How 4D effects cause different types of presence experience?,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry - VRCAI '11*, 2011, p. 375.
- [36] J. Seo, S. Mun, J. Lee, and S. Choi, “Substituting Motion Effects with Vibrotactile Effects for 4D Experiences,” in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*, 2018, pp. 1–6.
- [37] D. Ablart, C. Velasco, and M. Obrist, “Integrating Mid-Air Haptics into Movie Experiences,” in *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video - TVX '17*, 2017, pp. 77–84.
- [38] M. Obrist, E. Gatti, E. Maggioni, C. T. Vi, and C. Velasco, “Multisensory Experiences in HCI,” *IEEE Multimed.*, vol. 24, no. 2, pp. 9–13, Apr. 2017.
- [39] M. Obrist, “Mastering the Senses in HCI: Towards Multisensory Interfaces,” in *Proceedings of the 12th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter - CHIItaly '17*, 2017, pp. 1–2.
- [40] L. Zou, I. Tal, A. Covaci, E. Ibarrola, G. Ghinea, and G.-M. Muntean, “Can Multisensory Media Improve Learner Experience?,” in *Proceedings of the 8th ACM on Multimedia Systems Conference - MMSys'17*, 2017, pp. 315–320.
- [41] P. T. Kovacs, N. Murray, G. Rozinaj, Y. Sulema, and R. Rybarova, “Application of immersive technologies for education: State of the art,” in *2015 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL)*, 2015, pp. 283–288.
- [42] S. Mann, T. Furness, Y. Yuan, J. Iorio, and Z. Wang, “All Reality: Virtual, Augmented, Mixed (X), Mediated (X,Y), and Multimediased Reality,” *arXiv.org*, Apr. 2018.
- [43] K. Kampfer, B. Ivens, and A. Brem, “Multisensory innovation: Haptic input and its role in product design,” *IEEE Eng. Manag. Rev.*, vol. 45, no. 4, pp. 32–38, 2017.
- [44] M. Obrist, S. Subramanian, E. Gatti, B. Long, and T. Carter, “Emotions Mediated Through Mid-Air Haptics,” in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15*, 2015, pp. 2053–2062.
- [45] M. Y. Tsalamlal, W. Rizer, J. C. Martin, M. Ammi, and M. Ziat, “Affective Communication through Air Jet Stimulation: Evidence from Event-Related Potentials,” *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 34, no. 12, pp. 1157–1168, Dec. 2018.
- [46] N. Ranasinghe *et al.*, “Tainted: Smell the Virtual Ghost,” in *Proceedings of the 2017 ACM SIGCHI Conference on Creativity and Cognition - C&C '17*, 2017, pp. 266–268.
- [47] N. Ranasinghe, R. Nakatsu, H. Nii, and P. Gopalakrishnakone, “Tongue Mounted Interface for Digitally Actuating the Sense of Taste,” in *2012 16th International Symposium on Wearable Computers*, 2012, pp. 80–87.
- [48] G. Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier. 1958.
- [49] V. Meza-Kubo, A. Gonzalez-Fraga, A. L. Moran, and M. Tentori, “Augmenting Cognitive Stimulation Activities in a Nursing Home through Pervasive Computing,” in *2009 Latin American Web Congress*, 2009, pp. 8–15.
- [50] E. Klinger, E. Martinet, A. L. Lucas, and D. Perret, “Design of virtual reality based physical and cognitive stimulation exercises for elderly people,” in *9th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies*, 2012, pp. 10–12.
- [51] E. de la Guía, M. D. Lozano, and V. M. R. Penichet, “Cognitive Rehabilitation Based on Collaborative and Tangible Computer Games,” in *Proceedings of the ICTs for Improving Patients Rehabilitation Research Techniques*, 2013.
- [52] E. de la Guía, M. Lozano, and V. R. Penichet, “TrainAb,” in *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems on - CHI EA '13*, 2013, p. 3039.
- [53] L. Gamberini *et al.*, “Eldergames: videogames for empowering, training and monitoring elderly cognitive capabilities,” *Gerontechnology*, vol. 7, no. 2, p. 111, Apr. 2008.
- [54] J. Jung, L. Kim, S. Park, and G. H. Kwon, “E-CORE (Embodied COgnitive REhabilitation): A Cognitive Rehabilitation System Using Tangible Tabletop Interface,” Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 893–897.
- [55] F. González-Palau, M. Franco, J. M. Toribio, R. Losada, E. Parra, and P. Bamidis, “Designing a Computer-based Rehabilitation Solution for Older Adults: The Importance of Testing Usability,” *psychology.org*, vol. 11, no. 2, pp. 119–136, 2013.
- [56] Z. S. de U. Breton, B. G. Zapiain, and A. M. Zorrilla, “KiMentia: Kinect based tool to help cognitive stimulation for individuals with dementia,” in *2012 IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, 2012, pp. 325–328.
- [57] C. G. Vazquez, E. M. Martinez, M. A. V. Duboy, and A. G. Oliva, “Distributed System for Cognitive Stimulation Over Interactive TV,” *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 16, no. 6, pp. 1115–1121, Nov. 2012.
- [58] A. Tapus, C. Tapus, and M. Mataric, “Long Term Learning and Online Robot Behavior Adaptation for Individuals with Physical and Cognitive Impairments,” Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 389–398.
- [59] S. Mccallum and C. Boletsis, “Augmented reality cube game for cognitive training: an interaction study,” *Stud. Heal. Technol. Inform.*, vol. 200, pp. 81–87, 2014.
- [60] W.-Y. G. Louie, D. McColl, and G. Nejat, “Playing a memory game with a socially assistive robot: A case study at a long-term care facility,” in *2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 2012, pp. 345–350.
- [61] G. Optale *et al.*, “Controlling Memory Impairment in Elderly Adults Using Virtual Reality Memory Training: A Randomized Controlled Pilot Study,” *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 24, no. 4, pp. 348–357, May 2010.
- [62] C. Buiza, J. Soldatos, T. Petsatodis, A. Geven, A. Etxaniz, and M. Tscheligi, “HERMES: Pervasive Computing and Cognitive Training for Ageing Well,” Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 756–763.
- [63] C. Jost, M. Grandgeorge, B. Le Pevedic, and D. Duhaut, “StimCards: Interactive and configurable Question and Answer game users study conclusion,” in *2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2013, pp. 613–618.
- [64] H. Yamaguchi, Y. Maki, and K. Takahashi, “Rehabilitation for dementia using enjoyable video-sports games,” *Int. Psychogeriatrics*, vol. 23, no. 04, pp. 674–676, May 2011.
- [65] C. Jost, “ArCo: une Architecture informatique pour un Compagnon Artificiel en interaction avec un utilisateur,” Jan. 2013.
- [66] C. Beauchene, N. Abaid, R. Moran, R. A. Diana, and A. Leonessa, “The Effect of Binaural Beats on Visuospatial Working Memory and Cortical Connectivity,” *PLoS One*, vol. 11, no. 11, p. e0166630, Nov. 2016.

- [67] R. Padmanabhan, A. J. Hildreth, and D. Laws, "A prospective, randomised, controlled study examining binaural beat audio and pre-operative anxiety in patients undergoing general anaesthesia for day case surgery," *Anaesthesia*, vol. 60, no. 9, pp. 874–877, Sep. 2005.
- [68] M. Bauerly and Y. Liu, "Effects of Symmetry and Number of Compositional Elements on Interface and Design Aesthetics," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 24, no. 3, pp. 275–287, Mar. 2008.
- [69] A. Altaboli and Y. Lin, "Effects of Unity of Form and Symmetry on Visual Aesthetics of Website Interface Design," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 56, no. 1, pp. 728–732, Sep. 2012.
- [70] P. Rabardel, *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin, 1995.
- [71] K. M. Gerling and M. Masuch, "When gaming is not suitable for everyone: Playtesting Wii games with frail elderly," *Proc. 1st Work. Game Access. Xtreme Interact. Des.*, pp. 1–4, 2011.
- [72] J. R. Stroop, "Studies of interference in serial verbal reactions.," *J. Exp. Psychol.*, vol. 18, no. 6, pp. 643–662, 1935.
- [73] S.-Y. Kim, M.-S. Kim, and M. M. Chun, "Concurrent working memory load can reduce distraction," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 102, no. 45, pp. 16524–16529, 2005.