



**HAL**  
open science

# Apports des interactions tangibles pour la création, le choix et le suivi de parcours de visite personnalisés dans les musées

Stéphanie Rey

► **To cite this version:**

Stéphanie Rey. Apports des interactions tangibles pour la création, le choix et le suivi de parcours de visite personnalisés dans les musées. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Bordeaux, 2020. Français. NNT : 2020BORD0049 . tel-02929283

**HAL Id: tel-02929283**

**<https://theses.hal.science/tel-02929283v1>**

Submitted on 3 Sep 2020

**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.

THÈSE PRÉSENTÉE À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX ET PRÉPARÉE À L'ESTIA

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR DE

L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE N° 39 MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE

SPÉCIALITÉ : INFORMATIQUE

Par Stéphanie REY

Apports des Interactions Tangibles  
pour la Création, le Choix et le Suivi  
de Parcours de Visite Personnalisés  
dans les Musées

Sous la direction de : Nadine COUTURE  
et l'encadrement de : Anke BROCK

Soutenue le 08 juin 2020

Membres du jury :

M. Pascal GUITTON	Professeur Univ. Bordeaux	Président du jury
M. Christophe KOLSKI	Professeur Univ. Polytechnique Hauts-de-France	Rapporteur
Mme Wendy MACKAY	Directrice de recherche Inria, Paris-Saclay	Rapporteuse
Mme Valérie MAQUIL	Chercheuse Luxembourg Institute of Science and Technology	Examinatrice
Mme Florence ANDREACOLA	Maître de Conférences Université Grenoble Alpes	Examinatrice
Mme Nadine COUTURE	Professeure ESTIA Institute of Technology	Directrice de thèse
Mme Anke BROCK	Enseignante-Chercheuse ENAC	Encadrante de thèse
M. Christophe BORTOLASO	Ingénieur de Recherche Berger-Levrault	Invité



**Titre :** Apports des Interactions Tangibles pour la Création, le Choix et le Suivi de Parcours de Visite Personnalisés dans les Musées.

**Résumé :** La personnalisation est une tendance envisagée par les musées pour faire face à la diversité des visiteurs et de leurs pratiques de visite. Afin de favoriser la mise en œuvre de visites personnalisées, nous questionnons l'apport des interactions tangibles, non seulement pour les visiteurs, mais également pour les professionnels du musée. Comment aider les médiateurs culturels à concevoir des parcours personnalisés prenant en compte la diversité des profils de visiteurs ? Comment aider les visiteurs à choisir et suivre le parcours qui correspond à leurs envies et besoins ? Nous avons appliqué un processus de conception centrée utilisateurs avec des musées partenaires afin de concevoir, implémenter et évaluer des outils tangibles permettant de répondre à ces questions. L'analyse des besoins des utilisateurs (médiateurs culturels et visiteurs) nous a permis de définir six caractéristiques principales à prendre en compte pour la personnalisation des visites ainsi que de faire émerger le concept de personnalisation multicritères. Nous proposons un concept d'interface permettant d'associer le choix des caractéristiques visiteur constituant un profil et le suivi dynamique de l'avancement de la création des parcours personnalisés pour chaque combinaison pour les médiateurs. Ce concept a été instancié selon deux modalités d'interaction tangible et tactile, que nous avons comparées à travers une étude expérimentale auprès de médiateurs de musée. Nous décrivons également la conception itérative de prototypes d'aide au choix de parcours personnalisés pour les visiteurs, ainsi que l'étude pilote menée dans un musée partenaire. Les prototypes conçus pendant cette thèse mettent en œuvre le paradigme d'interaction *token+constraint*. Nous proposons une analyse systématique de la littérature référençant le paradigme d'interaction *token+constraint*, ainsi qu'une grille heuristique de 24 propriétés réparties en cinq catégories reprenant, synthétisant et illustrant les concepts de l'article séminal, que nous appliquons aux prototypes conçus durant la thèse.

**Mots clés :** Interaction Homme-Machine ; Interaction Utilisateur Tangible ; Personnalisation ; Musée

---

**Title:** Tangible Interactions for Creating, Choosing and Monitoring Personalized Visit in Museums

**Abstract:** Museums are considering the personalization trend to accommodate the diversity of visitors and their visiting practices. In order to support the spread of personalized visits, we question the contribution of tangible interactions, not only for visitors but also for museum professionals. How to help cultural mediators design personalized visits that reflect the diversity of visitor profiles? How to help visitors choose and follow the visit that suits their wishes and needs? We applied a user-centered design process with partner museums to design, implement and evaluate tangible tools to answer these questions. The user needs analysis (cultural mediators and visitors) allowed us to define six main characteristics to consider for the personalization of visits and to identify the concept of multi-criteria personalization. For the cultural mediators, we propose an interface concept combining the choice of visitor characteristics to constitute a profile and the dynamic monitoring of the personalized visits creation progress for each combination. We instantiated this concept using two interaction modalities, tangible and tactile, which we compared through an experimental study with museum mediators. For the visitors, we iteratively designed prototypes to help them choose personalized visits and conducted a pilot study in a partner museum. The prototypes designed during this thesis implement the *token+constraint* interaction paradigm. We propose a systematic literature review referencing the *token+constraint* interaction paradigm, as well as a heuristic grid of 24 properties divided into five categories that resume, synthesize and illustrate the concepts of the seminal article. We applied this heuristic to the prototypes designed during the thesis.

**Keywords:** Human-Computer Interaction; Tangible User Interaction; Personalization; Museum

---

Univ. Bordeaux, ESTIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, LaBRI, UMR 5800, F-64210 Bidart, France  
Berger-Levrault, 64 Rue Jean Rostand, 31670 Labège



## Table des matières

Préambule : Contexte industriel des travaux .....	9
1 Introduction .....	12
2 État de l’art et de l’existant .....	21
2.1 La personnalisation dans le domaine muséal.....	21
2.2 Les interactions tangibles.....	31
2.3 Conclusion .....	42
3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées.....	45
3.1. Analyse des besoins .....	46
3.2. Conception d’un outil d’aide à la scénarisation de parcours de visite personnalisés .....	57
3.3. Développement de MuseoTUI et MuseoGUI.....	80
3.4. Évaluation de MuseoTUI et MuseoGUI.....	87
3.5. Discussion.....	97
3.6. Conclusion .....	99
4. Choix d’un parcours de visite personnalisé par les visiteurs .....	103
4.1. Analyse des besoins .....	104
4.2. Conception d’un outil d’aide au choix de parcours de visite personnalisés .....	109
4.3. Développement de Build Your Own Hercules.....	121
4.4. Évaluation de Build Your Own Hercules.....	125
4.5. Discussion.....	127
4.6. Conclusion .....	129
5 Le paradigme d’interaction tangible <i>Token+Constraint</i> .....	133
5.1 Revue systématique de la littérature .....	134
5.2 Grille heuristique de conception .....	140
5.3 Cas d’étude.....	144
5.4 Discussion.....	149
5.5 Conclusion .....	151
6. Suivi des parcours de visite personnalisés par les visiteurs .....	155
6.1. Analyse.....	156
6.2. Conception d’un outil de suivi de parcours de visite personnalisés.....	159
6.3. Discussion.....	166
6.4. Conclusion .....	167
7. Conclusion et perspectives .....	171

7.1. Questions de recherche et contributions.....	173
7.2. Limitations et perspectives.....	178
8. Annexes.....	186
8.1. Liste des publications de l'auteur.....	186
8.2. Glossaire.....	188
8.3. Annexe 3A : Protocole Expérimental (Chapitre 3).....	192
8.4. Annexe 3B : Résultats Expérimentation (Chapitre 3).....	211
8.5. Annexe 4A : Questionnaires semi-directifs (Chapitre 4).....	214
8.6. Annexe 4B : Questionnaires Internet (Chapitre 4).....	215
8.7. Annexe 4C : Storyboards Colonne et Hercule (Chapitre 4).....	219
8.8. Annexe 5A : Revue Systématique de Littérature <i>token+constraint</i> (Chapitre 5).....	221
Bibliographie.....	225
Liste des figures.....	245
Liste des tables.....	250

## Remerciements

Ce manuscrit est l'aboutissement de trois années de travail qui m'ont permis de rencontrer des gens passionnants et passionnés, je tiens ici à les remercier.

En premier lieu je tiens à remercier mes encadrantes, Nadine Couture et Anke Brock, qui m'ont accompagnée avec gentillesse, bienveillance et confiance. Merci pour vos conseils et idées, et pour avoir supporté et recadré mes éternels questionnements. Merci pour les cours d'aquagym et les articles sur le « syndrome de l'imposteur ». Merci également à Célia Picard, amie de longue date grâce à qui cette thèse a vu le jour. Je me souviens encore quand elle m'a présenté l'impressionnant Mustapha Derras en 2016 pour un prêt de matériel pour Museomix. Le but premier de la réunion a été rapidement balayé « pas de problème pour le matériel, maintenant parlons de choses sérieuses, les musées et le numérique ça peut intéresser Berger-Levrault, tu veux travailler avec nous ? » et Célia d'enchaîner « une thèse serait parfait ». Merci donc aussi à Mustapha et à Berger-Levrault, pour m'avoir donné l'opportunité et la liberté d'explorer ce sujet passionnant. Merci également à Christophe Bortolaso qui a su trouver sa place en cours de route dans ce projet à la base 100% féminin.

Je tiens également à remercier mes rapporteurs, Christophe Kolski et Wendy Mackay, ainsi que mes examinateurs, Pascal Guitton, Valery Maquil et Florence Andreacola, qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer cette thèse. L'intérêt que vous avez porté à mon travail m'a beaucoup touché et j'ai réellement apprécié nos échanges lors de la soutenance. J'espère que nous pourrons les poursuivre de visu lors de prochaines rencontres. Merci à Pascal Desbarats et David Sherman d'avoir accepté de faire partie de mon comité de suivi et pour leurs questions et conseils tout au long de la thèse.

Je souhaite également remercier les différentes équipes de recherche qui m'ont accueillie tout au long de la thèse. Merci aux membres d'ESTIA Recherche et tout particulièrement à Maxime Daniel et à Denis Géral. Merci également à l'équipe Potioc de l'INRIA Bordeaux et à Martin Hachet de m'avoir hébergée pour les 6 premiers mois de ma thèse. Et merci à l'équipe LII de l'ENAC et à Stéphane Conversy d'avoir pris le relai et de m'avoir (ré)intégrée à l'équipe, merci à Sylvain et Valentin d'avoir partagé leurs expériences de thésard. Je voudrais adresser une pensée toute particulière pour Jean-Luc Vinot, avec qui j'ai partagé des moments précieux et qui m'a tellement appris. Et enfin merci à mes collègues de la Direction de la Recherche et de l'Innovation à Berger-Levrault : Florent, Faustine, Kat, Liwen, Kevin... pour les bons moments passés ensemble, que nous allons continuer de partager avec plaisir.

Merci également aux étudiants qui ont contribué par leurs projets à l'avancement des travaux de cet thèse : Pierre Maurieras, Yanis Fatmi, Fanny Franco, Sarah Guilbert, Jérémie Manéré, Raphaël Ollando, Thibault Martin, Cédric Barbin et un immense merci à Vincent Fougeras.

Ce travail n'aurait pas été possible sans les musées qui ont accepté de m'ouvrir leurs portes, et sans les professionnels qui se sont impliqués avec un enthousiasme réjouissant dans la démarche de conception participative. Je tiens ainsi à remercier le Musée Saint-Raymond et son équipe dynamique, innovante et chaleureuse, merci Mathieu et Loussia pour votre passion et dix mille mercis à Lydia pour avoir été toujours partante pour tout expérimenter ! Je tiens également à remercier la Cité du Vin, et plus particulièrement Véronique, Eric et Karine pour



leur accueil toujours bienveillant et enthousiaste, et le temps précieux qu'ils m'ont accordé. Merci également à la Cité de l'Océan, Cap Sciences, le musée de Augustins, le musée de minéralogie des mines de Paris. Merci également à Sophie, Prissy, Emma et la Team Museomix .

Pour finir je tiens à remercier ma famille et mes proches, tous les amis qui m'ont supportée et qui sont même allés jusqu'à regarder la soutenance en live ! Et bien sûr un remerciement tout particulier à Jefferson qui m'a accompagnée tout au long de cette thèse, pour son écoute attentive, ses conseils avisés et son support moral indispensable.

## Préambule : Contexte industriel des travaux

---

Pour mener à bien cette recherche, soutenu par l'ANRT (Association Nationale Recherche Technologie), Berger-Levrault s'est associé à l'ESTIA (École Supérieure des Technologies Industrielles Avancées) à Bidart, au LaBRI (Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique) à l'Université de Bordeaux et l'ENAC (École Nationale de l'Aviation Civile) à Toulouse au travers de la thèse de doctorat de Stéphanie Rey. Cette thèse ambitionne de contribuer à l'élaboration d'outils pour stimuler l'engagement et la revisite dans les musées et de ce fait d'ouvrir d'importantes opportunités technologiques et industrielles.

Berger-Levrault est historiquement une société d'impression de documents administratifs, créée entre 1676 et 1681 à Strasbourg. Jusqu'à la fin du XXème siècle, la maison d'édition sera successivement imprimeur du roi, de l'annuaire militaire de l'armée française, du code Napoléon, de l'Almanach ainsi que des premiers ouvrages de Charles de Gaulle. Au fil du temps, l'entreprise s'étend et s'installe à Nancy. Aujourd'hui encore, Berger-Levrault continue d'éditer des documents réglementaires et administratifs pour l'état. En 1981, Berger-Levrault continue de s'adapter à son environnement et aux nouvelles technologies qu'elle intègre à ses processus de production. L'entreprise entre dans l'ère du numérique. Elle vend l'imprimerie, conserve la maison d'édition et adresse les premiers logiciels de gestion aux collectivités locales et au secteur médico-social. L'offre logicielle s'élargit par croissance externe au secteur de la santé, de l'éducation, de l'enseignement supérieur et à la gestion technique des équipements et de la maintenance pour le secteur privé et public. Aujourd'hui Berger-Levrault, éditeur de logiciels international, accompagne les professionnels privés et publics pour répondre aux exigences croissantes de performance et à la transformation de leurs métiers. Avec 51 000 clients et 1 800 collaborateurs en France, en Espagne, au Canada et au Maroc, le Groupe adresse les collectivités et administrations locales, les établissements médico-sociaux, le secteur hospitalier, les entreprises, les industries et le monde de l'éducation. L'ambition de Berger-Levrault est de faire bénéficier ses utilisateurs du potentiel du numérique au travers de plateformes de services à l'heure de l'ouverture massive des données et des interfaces intelligentes.

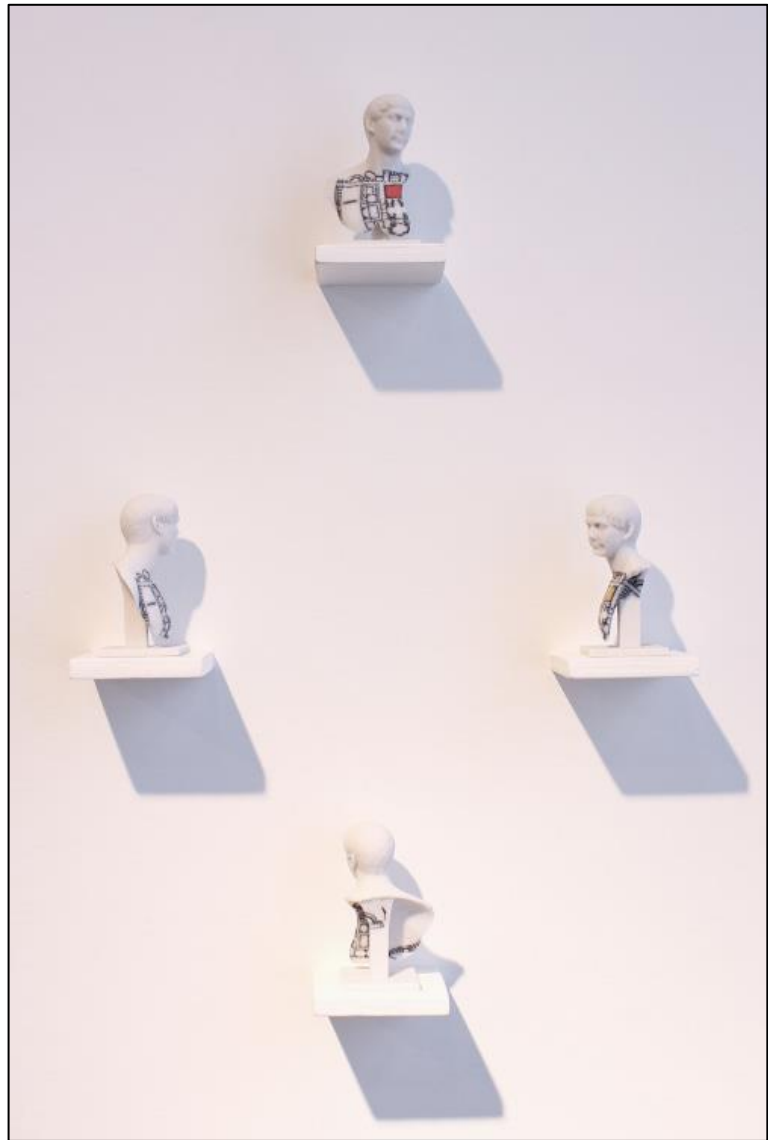
Les musées, et en particulier le musée du Louvre, ont longtemps fait partie des clients de Berger-Levrault qui leur fournissait des formations réglementaires relatives à la conduite à adopter en présence de visiteurs. Le groupe s'étant essentiellement recentré sur le numérique, ces prestations ont été abandonnées il y a quelques années. Aujourd'hui, Berger-Levrault souhaite reconquérir le marché des musées et celui de l'e-tourisme en général par la fourniture de logiciels innovants et originaux de support et de gestion. Berger-Levrault déploie depuis plusieurs années une dynamique de développement de son activité recherche pour fournir à ses clients des produits innovants, mais également pour construire des programmes de recherche ambitieux à vocation de valorisations concrètes. Le sujet de cette thèse s'inscrit dans cet intérêt industriel relatif au e-tourisme, naissante chez Berger-Levrault mais qui possède un potentiel de développement à long terme.



# Chapitre 1

---

## Introduction



Alice Martin, *Trajan's Thermae*, 2018

Sources modèle 3D Musée Saint-Raymond et Wikimedia Commons. CC Attribution-ShareAlike  
Photo Alice Martin. <https://cargocollective.com/alicecmartin/Trajan-s-Thermae>.

# 1 Introduction

---

La visite d'un musée est influencée par de nombreux critères liés aux identités multiples des visiteurs et aux contextes de la visite (Eidelman, Gottesdiener et Le Marec, 2013). Le temps dont le visiteur dispose, ses connaissances préalables, les personnes avec qui il visite, ses humeurs et envies du jour sont autant de facteurs qui impactent ses attentes et ses pratiques. Face à la « pluralité des figures de visiteurs » (*ibid.*) et de leurs pratiques de visite, les musées proposent différents types de médiation du contenu culturel. Les visites guidées permettent ainsi de proposer des parcours thématiques (selon les types d'œuvres, les époques, les sujets, etc.) ou profilés selon des catégories typiques de visiteur (groupes, personnes en situation de handicap, tranches d'âge des enfants). Au cours de ces visites, les médiateurs culturels<sup>1</sup> adaptent en temps réel le discours à leur auditoire et ses réactions, dans un « travail de dialogue » qui construit un récit partagé d'interprétation (Gellereau, 2005). Cependant, ces visites ne sont disponibles qu'à des créneaux horaires précis, en quantité limitée et ne conviennent pas à ceux voulant visiter librement. Certains guides de visite multimédias ou applications mobiles – disponibles en permanence – permettent de fournir aux visiteurs des parcours de visite selon certaines thématiques et d'adapter le discours selon des profils types définis par la politique des publics. Des tablettes tactiles sont également utilisées, par exemple, pour fournir des contenus de visite adaptés aux enfants, qu'ils soient ou non en situation de handicap (Bougenies et al., 2015). Ces types de dispositifs renouvellent l'expérience de visite guidée thématisée ou profilée, mais ne permettent pas de proposer des parcours personnalisés selon des niveaux plus fins comme la composition des groupes de visiteurs (Andreacola, 2014), alors que la visite d'un musée est une activité fortement sociale (Hood, 1983).

Le contexte muséal a été un domaine d'application privilégié depuis plus de vingt ans pour la recherche en informatique sur la personnalisation et les systèmes adaptatifs (Ardissono, Kuflik et Petrelli, 2012). Les travaux se sont essentiellement intéressés à la modélisation des visiteurs à partir de données explicites (par exemple issues de questionnaires ; Vayanou *et al.*, 2012) ou implicites (comme par exemple, le comportement pendant la visite ; Stock *et al.*, 2007), parfois combinée à la génération automatique de parcours et de contenus multimédia correspondants (Stock et al., 2007). Cependant, ces solutions traitent rarement des groupes de visiteurs – plus compliqués à modéliser que les individus – et sont souvent testées avec des jeux de données simulées (Ardissono, Kuflik et Petrelli, 2012). Lorsque des expérimentations en conditions réelles sont menées, la personnalisation n'est souvent pas perçue par les visiteurs – surtout lorsque le recueil de données est implicite – et peut mener à des contenus dupliqués ou à des incohérences (Fantoni, 2009).

En outre, ces solutions ne prennent pas en compte les compétences spécifiques des professionnels des musées dans la création de visites adaptées à leurs visiteurs. La conception de visites guidées est un processus expert impliquant les capacités des professionnels à

---

<sup>1</sup> Les médiateurs culturels mettent à la portée des visiteurs des moyens de mieux comprendre certaines dimensions des collections et de partager des appropriations, au travers notamment d'ateliers et de visites guidées. Voir le glossaire, p. 186, en annexe pour plus de détails. Tous les mots avec cette même police de caractères à empattement sont définis dans le glossaire.

construire et raconter des histoires, à s'adapter à leur public et à distiller les connaissances sur leur collection. C'est pourquoi ils sont fortement opposés à la génération purement automatique de parcours et de contenus par une intelligence artificielle. Ils sont en revanche enclins à utiliser les nouvelles technologies si celles-ci sont pertinentes et alignées avec leurs pratiques professionnelles et leurs objectifs (Not et Petrelli, 2019). Quelques projets en Interaction Homme-Machine (IHM) prennent en compte les compétences spécifiques des professionnels des musées pour leur proposer des outils d'édition de parcours de visite personnalisés (Vayanou *et al.*, 2014 ; Not et Petrelli, 2018). Cependant ils se concentrent sur la création de contenu et d'expériences interactives et non sur la diversité des profils de visiteurs, au-delà du thème, de la langue ou de persona. Cette thèse se propose donc de répondre à deux questions en miroir :

- 1) Comment aider les médiateurs culturels à concevoir des parcours personnalisés prenant en compte la diversité des profils des visiteurs ?
- 2) Comment aider les visiteurs à choisir et suivre un parcours qui leur corresponde pour qu'ils comprennent et maîtrisent la personnalisation ?

Pour approcher ces deux questions centrales, cette thèse prend le parti d'explorer l'utilisation des interfaces utilisateurs tangibles (TUI), dont les nombreuses propriétés nous paraissent pertinentes dans notre contexte. En effet, les interfaces utilisateurs tangibles permettent de représenter et contrôler les données numériques directement à travers des objets physiques, tirant ainsi parti des affordances physiques naturelles pour manipuler les données numériques (Ishii et Ullmer, 1997). Les TUI favorisent ainsi la collaboration (Manshaei *et al.*, 2017), la manipulation et l'organisation de données abstraites (Jacob *et al.*, 2002), la résolution de problèmes (Schneider, Blikstein et MacKay, 2012) ainsi que la cognition distribuée (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Elles permettent également d'attirer l'attention, de favoriser l'engagement et la participation dans des contextes grand public (Golsteijn *et al.*, 2014). Elles ont d'ailleurs été largement utilisées dans le contexte muséal pour expliquer des phénomènes complexes (Maquil, Moll et Martins, 2017), guider les visiteurs (Vaart et Damala, 2015) ou leur permettre de choisir des points de vues différents sur l'exposition (Marshall *et al.*, 2016). Pour toutes ces raisons, nous soutenons dans cette thèse que dans le contexte de la personnalisation des visites, les interfaces tangibles ont un potentiel bénéfique non seulement pour les visiteurs mais également pour les professionnels des musées. Plus précisément, nous cherchons à démontrer à travers ce travail l'hypothèse suivante :

L'incarnation tangible des caractéristiques des visiteurs supporte les activités de création de parcours de visite personnalisés par les médiateurs culturels et de choix par les visiteurs d'un parcours de visite leur correspondant.

Cette hypothèse s'articule autour de plusieurs questions de recherche, auxquelles nous répondons au travers des différents chapitres de cette thèse et qui mettent en évidence nos principales contributions.

Question 1 : Comment les deux parties prenantes, médiateurs culturels et visiteurs, envisagent-elles la personnalisation des parcours de visite et selon quelles caractéristiques ?

Les chapitre 3 et 4 étudient cette question à travers l'analyse d'entretiens semi-directifs menés d'un côté avec des professionnels du service des publics de plusieurs institutions, et de l'autre auprès des visiteurs d'un musée partenaire. Ces études nous ont permis de mettre en regard leurs envies respectives et de dégager un ensemble de six caractéristiques principales à prendre en compte pour la personnalisation des visites, en plus du thème. Ces analyses ont également fait émerger le concept de personnalisation multicritère. Les caractéristiques des visiteurs doivent en effet être combinées afin de rendre compte de la diversité des profils des visiteurs, notamment pour les groupes. Cela permet aux visiteurs de composer un parcours « à la carte » tout en étant guidé dans leur choix : un couple d'adultes experts ayant une heure pour approfondir leur connaissance du musée ne visitera pas de la même manière qu'une grand-mère et son petit-fils de six ans désirant expérimenter pendant une après-midi.

Question 2 : Quels outils peuvent permettre aux professionnels des musées d'adresser la richesse des profils de visiteurs lors de la conception de parcours de visite personnalisés ?

Le chapitre 3 étudie cette question au travers de l'observation de deux exercices prospectifs de création de parcours multicritères dans deux musées partenaires. L'analyse de ces ateliers permet d'extraire les stratégies et les besoins des professionnels dans la création de tels parcours et de faire émerger des préconisations pour un outil d'aide à la création de parcours multicritères. Nous avons ainsi identifié que la tâche la plus complexe pour les professionnels n'est pas de créer le parcours en lui-même mais d'explorer leur espace de conception multidimensionnel, composé des croisements de caractéristiques des visiteurs, et de se projeter sur les différents profils afin de mettre en place leur stratégie de création. Nous avons mis au point un concept d'interface permettant d'associer le choix des caractéristiques de visiteurs constituant un profil et le suivi dynamique de l'avancement de la création des parcours pour chaque combinaison.

Question 3 : L'interaction tangible peut-elle supporter la tâche de création de parcours de visite personnalisés ? Quels sont les bénéfices et limitations par rapport à l'interaction tactile ?

Le chapitre 3 décrit l'instanciation du concept d'interface de combinaison des caractéristiques visiteur avec suivi de la progression selon les deux modalités d'interaction tangible et tactile. Nous répondons à cette question par une étude expérimentale auprès de huit médiateurs culturels qui ont comparé *MuseoTUI*, un prototype tangible de type token+constraint et *MuseoGUI*, son équivalent sur tablette tactile. Cette étude nous a permis de vérifier la compréhension, l'utilité et la pertinence du concept dans le contexte professionnel des médiateurs. Nous avons également comparé l'utilisabilité des deux modes d'interaction et évalué les préférences des utilisateurs. Les retours qualitatifs nous permettent de mettre en

évidence les bénéfices potentiels de l'interaction tangible pour la tâche de création de parcours de visite personnalisés multicritères, ainsi que ses limitations.

Question 4 : L'interaction tangible peut-elle aider les visiteurs, seuls ou en groupe, à choisir un parcours personnalisé qui leurs correspond ?

Le chapitre 4 décrit la conception itérative et participative de deux systèmes d'aide au choix de parcours personnalisé par les visiteurs mettant en œuvre des interactions tangibles et spatialisées. Afin de répondre à cette question, une étude pilote a été menée dans un musée partenaire de l'un de ces prototypes, *Build Your Own Hercules (BYO Hercules)*, auprès de 22 visiteurs. Celle-ci donne des premiers retours intéressants sur la facilité d'utilisation, la satisfaction et l'intérêt de ce système tangible de type *token+constraint* (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Cette expérience nous a également donné un aperçu des limitations et des bénéfices du tangible pour l'aide au choix de parcours de visite personnalisés par les visiteurs.

Question 5 : Quels sont les propriétés et bénéfices des interfaces de type *token+constraint* pour l'incarnation tangible des caractéristiques des visiteurs ?

Le chapitre 5 répond à cette question en analysant de manière systématique la littérature référençant le paradigme d'interaction *token+constraint* tel que décrit dans l'article séminal (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Afin de faciliter l'analyse de l'adéquation d'un système au paradigme, et de mettre à plat ses propriétés et ses bénéfices potentiels, nous proposons une grille heuristique de 24 propriétés réparties en cinq catégories reprenant et synthétisant les concepts de l'article séminal. Nous illustrons l'utilisation de cette grille et validons son usage sur les prototypes *BYO Hercules* et *MuseoTUI* ainsi que sur deux prototypes issus de la revue systématique de littérature.

Question 6 : L'interaction tangible peut-elle aider les visiteurs à suivre un parcours de visite sans prendre le pas sur leur expérience sensorielle du musée ?

Le chapitre 6 donne des pistes de réponse à cette question à travers la conception de deux interfaces tangibles suivant le continuum interaction-attention permettant au visiteur de réguler et répartir son attention selon les moments de la visite. Il décrit également la réalisation d'une plateforme physique d'expérimentation mettant en œuvre plusieurs modalités sensorielles afin de tester différentes formes de guidage dans le musée et leur impact sur l'attention des visiteurs.

### *Démarche*

Afin de répondre à ces questions, nous avons utilisé une approche de Conception Centrée Utilisateur (CCU) avec les deux parties prenantes : les professionnels des musées et les visiteurs. La CCU est décrite pour la première fois dans un ouvrage édité par Norman et Draper en 1985. Elle est ainsi retranscrite : « *la conception centrée sur l'utilisateur place l'utilisateur au centre du processus de conception, depuis l'analyse initiale des besoins des utilisateurs jusqu'aux tests et à l'évaluation* » (Beaudouin-Lafon et Mackay, 2003). En 1999, une



norme internationale ISO 13407<sup>2</sup> a été introduite pour formaliser le « *processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs* ». Cette norme a ensuite été révisée par la norme ISO 9241-210<sup>3</sup> en 2010. Elle précise les critères de mise en œuvre de la démarche de conception centrée utilisateur : la compréhension en amont des utilisateurs, de leurs tâches et de leur environnement ; l'implication active des utilisateurs tout au long du développement du produit ; l'itération entre les différentes phases du processus de conception ; la constitution d'une équipe de conception pluridisciplinaire ; la répartition appropriée des fonctions entre les utilisateurs (habitudes, personnalités, compétences) et la technologie (performance, fonctionnalités). Le cycle itératif de conception est composé de quatre grandes étapes : 1) la compréhension de l'activité, du contexte d'utilisation, 2) la compréhension des exigences et des tâches des utilisateurs, 3) la conception et le maquettage de solutions, 4) l'évaluation des solutions auprès des utilisateurs (Lallemand et Gronier, 2015).

Nous avons impliqué à différentes étapes de ce processus les personnels et/ou les visiteurs de sept institutions culturelles : la Cité du Vin et Cap Sciences à Bordeaux, le Musée Saint-Raymond, le Musée des Augustins et le Musée de la Résistance à Toulouse, la Cité de l'Océan à Biarritz et le Musée de Minéralogie Mines Paris Tech. Ces terrains d'expérimentations nous ont permis de faire des allers-retours entre théorie, conception de prototypes, et observations et expérimentations in-situ. Les étapes de cette thèse peuvent ainsi être placées selon le schéma de triangulation proposé par Mackay et Fayard (1997) entre les différentes disciplines et méthodes sous-tendant le domaine de l'IHM, s'inspirant en cela de thèses antérieures (Tabard, 2009 ; Garcia, 2014). La Figure 1 reprend les trois axes théorie, conception de prototype et observation pour exprimer le cheminement des projets composant cette thèse.

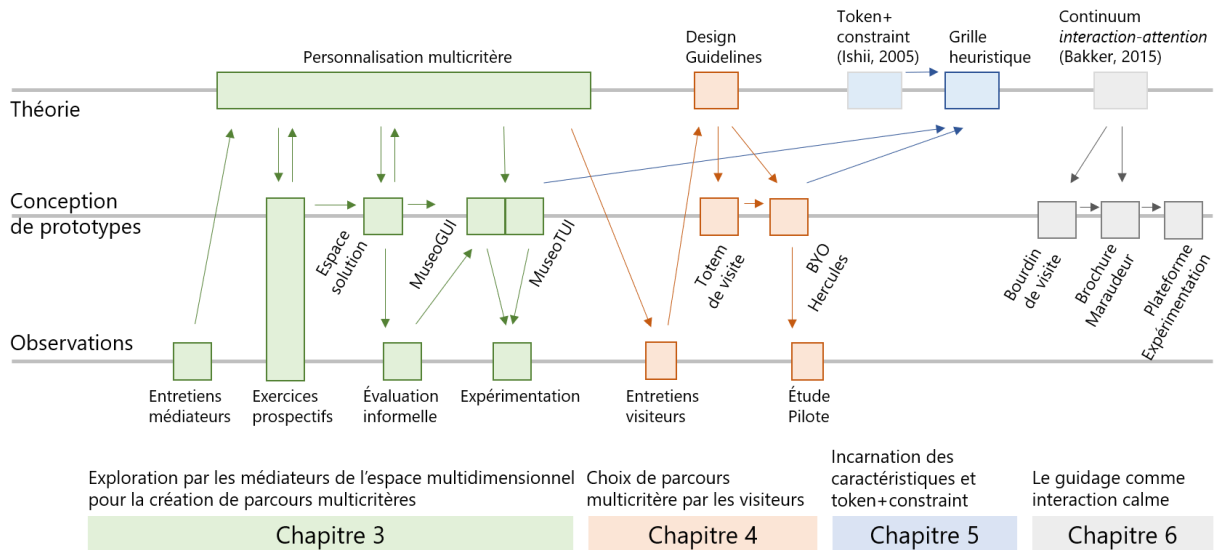


Figure 1 : Triangulation des projets de recherche de la thèse entre observation, conception et théorie (les rectangles avec contour indiquent des contributions personnelles, tandis que les rectangles sans contour correspondent à des travaux issus de la littérature)

<sup>2</sup> International Organization for Standardization. (1999). ISO 13 407:1999, Human-centered design processes for interactive systems

<sup>3</sup> International Organization for Standardization. (2010). ISO 9241-210:2010, Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centered design for interactive systems.

### *Structure du manuscrit*

Cette thèse est composée de sept chapitres, en incluant ce chapitre d'introduction. Le chapitre 2 présente les travaux des différents domaines liés à notre sujet : personnalisation, interface utilisateur tangible et domaine muséal. Dans une première sous-partie, nous explorons les différents projets ayant traité la personnalisation des visites dans les musées, les études sur les profils de visiteurs et les outils d'édition conçus spécifiquement pour les professionnels des musées. Dans une deuxième sous-partie, nous nous intéressons aux différentes taxonomies permettant de définir et classifier les interfaces tangibles, les usages des interactions tangibles pour les visiteurs de musées et enfin leur utilisation dans un contexte professionnel.

Le chapitre 3 présente les travaux menés auprès des professionnels de musées pour les aider dans leur tâche de création de parcours de visite personnalisés. Comme indiqué ci-dessus, ce chapitre se positionne dans une démarche de CCU et se décompose donc en analyse du besoin, conception itérative de plusieurs prototypes qui nous permettent d'affiner et conceptualiser le besoin et enfin réalisation des prototypes *MuseoGUI* et *MuseoTUI*. Ce chapitre se conclut par l'évaluation expérimentale de ces deux prototypes auprès des professionnels du musée et d'une discussion de ces résultats.

Le chapitre 4 reprend la démarche de CCU auprès des visiteurs du musée, avec comme terrain d'analyse le musée Saint-Raymond. L'analyse des besoins des visiteurs et la conception de deux prototypes basse fidélité nous permettent d'explorer différents paradigmes d'interaction tangible, menant à la réalisation du prototype *Build Your Own Hercules*. Ce prototype a été installé dans l'entrée du musée Saint-Raymond pendant une après-midi, nous décrivons donc les premiers retours que nous avons pu tirer de cette étude pilote.

Le chapitre 5 reprend le paradigme d'interaction sous-tendant les deux prototypes (*MuseoTUI* et *Build Your Own Hercules*) réalisés dans les deux chapitres précédents : le concept de token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Nous analysons au travers d'une revue systématique de littérature (SLR) son usage dans les travaux déclarant s'en inspirer et nous proposons une grille heuristique reprenant ses propriétés et bénéfices afin de guider la conception de futurs systèmes relevant de ce principe. Nous validons l'intérêt de cette grille pour définir, comparer et proposer des pistes d'amélioration en l'utilisant sur nos deux prototypes ainsi que sur deux exemples tirés de la SLR.

Le chapitre 6 décrit les opportunités d'utilisation des interactions tangibles pour le guidage des visiteurs une fois le parcours personnalisé choisi, afin de ne pas détourner leur attention de la visite du musée en elle-même. Nous explorons ainsi la notion d'interactions calmes (Weiser et Brown, 1997) et de continuum interaction-attention (Bakker et Niemantsverdriet, 2016) pour concevoir deux prototypes de guidage : le Bourdon de Visite et la Brochure du Maraudeur. Ces deux prototypes nous ont mené à la réalisation d'une plateforme d'expérimentation utilisant diverses modalités sensorielles pour guider les visiteurs.

Enfin le chapitre 7 reprend les différentes contributions de cette thèse, les positionne dans une vision de suite d'outils pour la personnalisation des parcours de visite et propose des perspectives de recherches futures.



# Chapitre 2

---

État de l'art et de l'existant



Léo Caillard – *Heroes of Stone*, 2017. Buste de Marc Aurèle (Musée Saint-Raymond).  
Scénographie pour l'exposition « Age of Classics » au musée Saint-Raymond et photographie de Guillaume  
Lamarque, février 2019.  
<https://lamarqueguillaume.com>

2	État de l'art et de l'existant .....	21
2.1	La personnalisation dans le domaine muséal.....	21
2.1.1	Définition et cas d'usage existants.....	21
2.1.2	Approches technologiques de la personnalisation.....	23
2.1.3	Approches muséologiques de la personnalisation .....	29
2.2	Les interactions tangibles .....	31
2.2.1	Définitions et propriétés.....	31
2.2.2	Cadres théoriques .....	34
2.2.3	Les dispositifs interactifs tangibles dans les musées.....	38
2.2.4	Les usages professionnels des interactions tangibles.....	41
2.3	Conclusion .....	42

Publication associée :

Stéphanie Rey. Museomix: lessons learned from an open creative hackathon in museums. In *Proceedings of the 3rd European Tangible Interaction Studio (ETIS 2017)*, Dimitra Anastasiou; Valérie Maquil, Jun 2017, Esch/Alzette, Luxembourg. pp.5.

## 2 État de l'art et de l'existant

---

Nos travaux sont à l'intersection de deux grands axes de recherche. Le premier correspond à la personnalisation dans le contexte muséal et recouvre : la modélisation des utilisateurs et la génération automatique de contenu, les interfaces permettant aux professionnels des musées de créer des parcours de visite personnalisés et les études de public en muséologie. Afin de répondre aux enjeux de la personnalisation des parcours, nous prenons le parti dans cette thèse d'explorer l'utilisation des interfaces utilisateurs tangibles (TUI), ce qui constitue notre second axe de recherche. Nous détaillons ici les fondements des TUI et leurs usages pour les visiteurs des musées et pour les professionnels en général.

### 2.1 La personnalisation dans le domaine muséal

La personnalisation dans le contexte des musées a été étudiée à la fois du point de vue technologique et du point de vue des sciences humaines. La recherche en informatique sur le sujet date des années 90, où l'apparition de nouvelles technologies a permis d'étudier l'adaptation du contenu et de sa présentation aux visiteurs, tandis que les recherches en muséologie se sont intéressées plus récemment au sujet, notamment à travers le développement des études sur les visiteurs (Ardissono, Kuflik et Petrelli, 2012). Ce chapitre commence par une définition de la personnalisation dans le domaine muséal illustrée de quelques exemples de cas concrets. Puis nous détaillons les avancées dans les deux approches : informatique (en abordant l'angle spécifique de l'IHM et des outils d'édition pour les professionnels des musées) et muséologique.

#### 2.1.1 Définition et cas d'usage existants

Les termes de customisation, personnalisation et individualisation sont souvent utilisés indifféremment pour se référer à la prise en compte des spécificités de l'utilisateur dans la mise en œuvre d'un produit numérique. Pourtant, ils renvoient à des concepts différents. Plusieurs définitions existent selon les auteurs, nous nous basons ici sur celles proposées par Bowen et Filippini-Fantoni pour le domaine muséal (Bowen et Filippini-Fantoni, 2004) et l'illustrons avec des exemples tirés de l'existant.

La customisation correspond au choix explicite par l'utilisateur de paramètres lui permettant de configurer de manière active la présentation du contenu (par exemple, le choix de la langue, le type de contenu et son organisation). Par exemple, le Art Institute de Chicago propose Journey Maker<sup>4</sup>, une application sur table tactile à l'entrée du musée. Elle permet aux familles de construire un parcours sur mesure en choisissant une thématique parmi huit (super héros, monstres, voyage dans le temps, etc.) puis une œuvre pour chacun des cinq chapitres de l'histoire correspondante. Ils déclarent ainsi proposer 262 000 combinaisons différentes. Le parcours correspondant peut ensuite être imprimé sous forme de livret contenant des jeux sur les œuvres choisies, un plan du musée et des indications de guidage. Le visiteur construit

---

<sup>4</sup> Journey Maker a été finaliste pour le prix GLAMi à la conférence Museum and the Web 2017 <https://mw17.mwconf.org/glami/journeymaker/>

entièrement son parcours en choisissant les œuvres, le système agit donc ici plutôt comme un cadre d'aide au choix dans un processus de customisation.

La personnalisation quant à elle permet au système d'adapter automatiquement le contenu en fonction d'un profil utilisateur. Le musée d'histoire de Nantes propose par exemple un écran tactile à l'entrée du musée (Figure 2) permettant de filtrer les parcours proposés selon cinq caractéristiques (le thème de la visite, la langue, la durée, le profil de visiteur et le type de visite). Le nombre de parcours proposé diminue au fur et à mesure des choix des visiteurs. Il s'agit ici de personnalisation puisque le contenu proposé est modifié en fonction du profil du visiteur, constitué par les valeurs choisies pour chaque caractéristique.

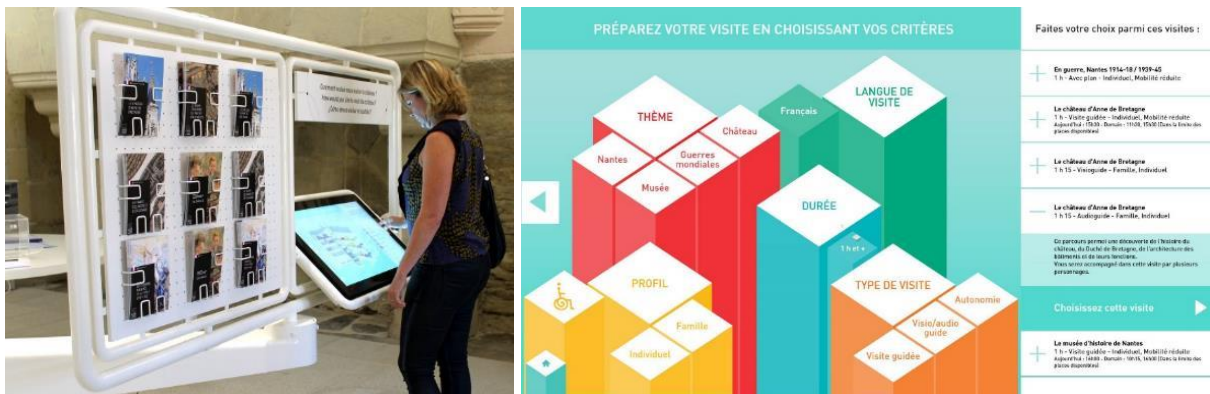


Figure 2 : Écran tactile installé au Musée d'Histoire de Nantes permettant de filtrer les parcours de visite selon un ensemble de caractéristiques. Photos Musée d'Histoire de Nantes, extraites de <http://www.club-innovation-culture.fr/application-multitouch-chateau-nantes-personnalisation-visite/>.

L'individualisation, enfin, est un terme chapeau permettant de recouvrir ces différents concepts. Nous nous concentrons dans ce travail sur l'adaptation du contenu de la visite en fonction du profil d'un visiteur ou d'un groupe de visiteurs, nous choisissons donc d'utiliser le terme de personnalisation de la visite.

Cette personnalisation peut également s'initier en dehors du cadre physique du musée lors de la préparation de la visite. Le Musée du Louvre à Paris propose ainsi sur son site web de sélectionner quatre caractéristiques (thème, durée, jour, public) et d'imprimer la visite correspondante parmi les 32 visites proposées<sup>5</sup>. Cependant toutes les combinaisons ne sont pas traitées et le système ne permet de choisir qu'une seule valeur pour le type de public parmi plusieurs tranches d'âges, compositions de groupe et situations de handicap. Il n'est donc pas possible, par exemple, de préparer une visite pour une famille avec des enfants d'âges différents et une personne en situation de handicap.

Certains musées ont également tenté de proposer des expériences de visites personnalisées lors de la visite physique en elle-même. Ainsi, au Palais des Beaux-Arts de Lille, trois options sont proposées sur deux tables tactiles (Figure 3) à l'entrée du musée : 1) constituer son propre parcours, 2) choisir parmi une liste de visites thématiques préétablies (également visibles sur leur site web) ou 3) visualiser l'ensemble des œuvres du musée. Une fois le parcours créé ou

<sup>5</sup> Site web du musée du Louvre présentant les parcours de visite et les critères de choix <https://www.louvre.fr/parcours> consulté le 21/01/2020

choisi, les visiteurs peuvent demander à imprimer le livret de visite correspondant ou l'envoyer sur leur mobile pour suivre le parcours à l'aide de l'application du musée<sup>6</sup>. La création de parcours selon la première fonctionnalité se révèle complexe pour les visiteurs seuls qui ne savent pas par où commencer. Les parcours préétablis, quant à eux, ne prennent pas en compte l'évolution dynamique des collections du musée (prêts d'œuvres, travaux) et peuvent se révéler rapidement obsolètes. En pratique, une médiatrice culturelle présente à côté de la table tactile utilise la troisième fonctionnalité de visualisation des œuvres pour coconstruire le parcours avec les visiteurs<sup>7</sup>. Celle-ci peut ainsi les conseiller dans la constitution d'un parcours en les interrogeant sur leurs centres d'intérêt, la composition de leur groupe, le temps dont ils disposent, etc. Le numérique sert ici de support pour la médiatrice à la constitution du parcours personnalisé, mais la tâche doit être répétée pour chaque nouveau groupe de visiteurs, sans pouvoir réutiliser ce qui a été créé précédemment.



Figure 3 : Tables tactiles à l'entrée du Palais des Beaux-Arts de Lille permettant de parcourir les collections, choisir une visite ou la composer soi-même (source PBA Lille). Ce parcours peut être récupéré sur l'application mobile correspondante (image de droite, source PBA Lille).

Ce premier état de l'existant nous permet de constater que la personnalisation actuelle dans les musées est souvent thématique et/ou profilée selon de grandes catégories de visiteurs, ou alors qu'elle repose sur un médiateur culturel sans possibilité de capitalisation.

## 2.1.2 Approches technologiques de la personnalisation

### *Modélisation des visiteurs et génération automatique de contenu*

La personnalisation est souvent traitée en recherche en informatique par la modélisation des utilisateurs combinée à la génération automatique de contenu. Cette approche appartient au champ de recherche large et varié des « Interfaces Utilisateur Intelligentes » (*Intelligent User Interfaces* ou IUI ; Maybury, 1999), au croisement entre Interaction Homme-Machine et Intelligence Artificielle (Kolski *et al.*, 2020). Les IUI tirent ainsi parti de la modélisation des connaissances, de l'utilisateur et de ses tâches, ainsi que de l'analyse de l'interaction en entrée (traitement automatique des langues, traitement d'images, etc.) pour générer ou adapter automatiquement une interface en fonction de l'utilisateur, son utilisation et son contexte.

Le projet *Cultural Heritage Information Personalization* (CHIP) propose ainsi une suite d'outils utilisant le web sémantique pour recommander des œuvres d'art et des visites personnalisées

<sup>6</sup> Application mobile du PBA Lille <https://pba.lille.fr/Le-Palais-des-Beaux-Arts-numerique> consulté le 16/01/2020

<sup>7</sup> Communication orale au Palais des Beaux-Arts de Lille le 10/11/2018



en fonction du profil des visiteurs (Wang *et al.*, 2008). Le visiteur est tout d'abord invité à noter des œuvres de la collection numérique du Rijksmuseum (Amsterdam, Pays-Bas) sur l'outil web « *Art Recommender* ». Chaque œuvre possède des *metadata* enrichies sémantiquement afin de les relier à des thèmes et à d'autres œuvres de la collection. Le profil du visiteur est ainsi constitué en inférant ses centres d'intérêt à partir des notes données aux œuvres. Un deuxième outil web, « *Tour Wizard* », propose alors au visiteur des visites personnalisées en fonction de son profil et de la longueur souhaitée pour le parcours (durée ou nombre d'œuvres maximum). Il peut suivre ce parcours dans le musée grâce au « *Mobile Guide* », une application sur PDA<sup>8</sup>, et l'adapter dynamiquement en modifiant la durée ou en notant de nouvelles œuvres. La personnalisation est ici basée sur un système de recommandation en fonction des œuvres déjà aimées. Cela pose le risque de maintenir les visiteurs dans une « bulle de filtres » composée uniquement de ce qu'ils aiment déjà (Bakshy, Messing et Adamic, 2015), alors que le musée est aussi un lieu de découverte et d'ouverture. Les auteurs soulignent ainsi que les caractéristiques des visiteurs comme le nombre de personnes dans le groupe ou leur âge restent à prendre en compte pour affiner le modèle (Wang *et al.*, 2008).

*Personal Experience with Active Cultural Heritage* (PEACH) propose des contenus multimédias générés automatiquement en fonction des comportements des visiteurs (Stock *et al.*, 2007). En arrivant au Buonconsiglio Castello (Trento, Italie), le visiteur choisit parmi plusieurs personnages animés sur un écran celui qui le guidera dans sa visite. Durant la visite, le système mobile affiche des contenus audios et vidéos générés automatiquement pour s'adapter en fonction de l'œuvre devant laquelle le visiteur se trouve (géolocalisation), du personnage choisi (perspective de la présentation), des œuvres déjà vues, du temps passé devant chacune, des notes qui leur ont été données pendant la visite et de la langue choisie. À la fin de la visite, un résumé personnalisé est généré automatiquement et imprimé. Il contient des informations sur les détails observés et des liens pour approfondir le sujet lors de la post-visite, sur internet ou dans des musées des alentours. Ce projet aborde de nombreuses facettes de la personnalisation de la visite, et prend également en compte la post-visite. Aucune étude utilisateur du système au complet n'a été menée, mais une étude du système de notation a montré qu'il permettait bien à l'utilisateur de se sentir en contrôle du système. Cependant l'ajout des autres facteurs implicites pourrait contrebalancer cette impression. Une autre étude utilisateur a démontré que le résumé post-visite pouvait accentuer l'impression du visiteur d'être observé pendant sa visite, et qu'il serait plus pertinent de le faire sur des actions explicites, plutôt qu'implicite, des utilisateurs. La transparence, le contrôle et la prédictibilité du système sont ainsi notés comme des points fondamentaux par les auteurs.

Ardissono, Kuflik et Petrelli (2012) recensent tous les projets de recherche de ce type, ce qu'ils nomment la personnalisation « *centrée technologie* » appliquée au domaine muséal, depuis le début des années 90. Les travaux sont classés selon plusieurs axes, que nous illustrons ici avec des projets parfois issus de la littérature ultérieure.

---

<sup>8</sup> Un *Personal Digital Assistant* est un appareil numérique portable assurant les fonctions d'assistant personnel (gestion des contacts, de l'agenda, des courriers, etc.).

- Les premiers correspondent à la visite en elle-même : le *contexte* (en intérieur, en extérieur, virtuel), le *type de dispositif* (ordinateur de bureau, dispositif mobile, dispositif portable ou tangible) et le *style de présentation* (plan du musée, pages web, guide personnalisés, audio-vidéo).
- D'autres axes correspondent plus précisément à la personnalisation : le *type d'adaptation* (au contexte, à l'individu, au groupe) et le *type de modélisation de l'utilisateur* (selon l'intérêt du visiteur pour des concepts de l'ontologie représentant le contenu culturel, selon des caractéristiques du visiteur, selon des mots-clés dans les descriptions des œuvres aimées par le visiteur, selon les notes attribuées par le visiteur à des œuvres).
- Ce modèle d'utilisateur peut être *initialisé* de diverses manières : par le remplissage de questionnaires (Paterno et Mancini, 1999), l'usage de stéréotypes (Roussou *et al.*, 2013 ; Almeshari, Dowell et Nyhan, 2019), la spécification de mots clés choisis ou inférés à partir de notes ou de réponses données par l'utilisateur (Li et Liew, 2015) ou par les données d'utilisation d'un autre système en ligne avant la visite (Naudet *et al.*, 2013 ; Konstantakis *et al.*, 2018).
- Une fois ce modèle établi, plusieurs stratégies existent pour le *mettre à jour* : soit de manière explicite, en fonction des interactions de l'utilisateur comme les notes attribuées au contenu présenté (*cf. supra* CHIP et PEACH), soit de manière implicite, en fonction de la navigation et des actions du visiteur in situ (Wecker, Stock et Kuflik, 2016), par exemple sa géolocalisation, sa vitesse de marche ou encore le temps passé devant chaque œuvre (Petrelli et Not, 2005). Les deux approches ont parfois été utilisées ensemble, comme dans le cas du projet PEACH.
- Enfin, le dernier axe classe les différentes manières de *faire correspondre des contenus aux modèles de visiteurs* : en utilisant des règles de type condition-action (Not et Petrelli, 2019 ; Raptis *et al.*, 2019), des systèmes de notation augmentée sémantiquement (*cf.* CHIP) ou des systèmes de filtrage basés sur les actions précédentes des autres visiteurs, sur les mots clés correspondant au contenu, ou des combinaisons de plusieurs de ces techniques.

Cependant ces solutions posent plusieurs problèmes et enjeux (Ardissono, Kuflik et Petrelli, 2012 ; López-Nores *et al.*, 2019). Le recueil des données pose tout d'abord des questions de transparence et de confiance, surtout dans le cas de la personnalisation implicite où les visiteurs n'ont pas de moyen de comprendre comment elle est réalisée et à partir de quoi. L'utilisation de questionnaires explicites est plus transparente et compréhensible, mais les visiteurs ne souhaitent pas remplir de longs questionnaires ennuyeux au début de leur expérience de visite (Filippini Fantoni, 2003). Un problème majeur est que la modélisation des visiteurs est individuelle et ne permet donc pas de prendre en compte les intérêts divergents et les caractéristiques différentes des individus au sein d'un groupe de visiteurs. Seul un petit nombre de projets prennent en compte l'aspect social de la visite en favorisant l'échange entre les visiteurs (Kuflik *et al.*, 2011 ; Delic *et al.*, 2018 ; Vayanou *et al.*, 2019) ou en modélisant des sous-groupes au sein du groupe, mais ce dernier point requiert un temps de configuration conséquent (Ardissono *et al.*, 2003).

Dim et Kuflik ont modélisé les comportements de couples de visiteurs en six profils : 1) les « pingouins » qui avancent ensemble sans prêter attention aux œuvres, 2) les « oies » où un visiteur semble mener la marche, 3) les « suricates » qui avancent ensemble en regardant les œuvres, 4) les « perroquets » qui interagissent tout en observant les œuvres, 5) les « colombes » qui se tiennent l'une en face de l'autre sans regarder les œuvres et enfin 6) les « loups solitaires » qui se séparent dès l'entrée du musée (Dim et Kuflik, 2014). Ces catégorisations pourraient aider à personnaliser les visites pour des groupes de deux visiteurs, en présentant des contenus similaires aux couples de « suricates » et de « perroquets », en donnant un point de rendez-vous commun aux « loups solitaires », en proposant des anecdotes aux « pingouins » pour les intéresser aux œuvres ou au meneur des « oies » pour qu'il les partage. Mais la complexité de cette approche augmente exponentiellement avec le nombre de visiteurs dans le groupe et est complexe à mettre en place (Kosmopoulos et Styliaras, 2018).

Dans sa thèse en médiation de la culture, Filippini-Fantoni (2009) souligne également des problèmes de répétitions et d'incohérences lors de la génération automatique de contenu et de non-perception de la personnalisation par les visiteurs, leurs envies étant difficilement interprétables par les algorithmes (Andreacola, 2014). Ces solutions s'abstraient en outre des compétences des professionnels des musées pour la création de contenus culturels adaptés à leurs visiteurs, ce qui pourrait expliquer en partie le manque d'adoption à grande échelle de la personnalisation dans les musées malgré les 25 années de recherche dans le domaine (Not et Petrelli, 2019).

### *Personnalisation à l'aide d'outils numériques par les professionnels du musée*

Les projets de la section précédente traitent de la génération automatique des visites personnalisées par la modélisation du contexte et des visiteurs. Un petit nombre de projets de recherche s'intéressent à la création outillée de visites personnalisées par les professionnels des musées eux-mêmes. Cette section décrit donc à la fois les expériences de visite personnalisées proposées aux visiteurs et les outils d'édition permettant de les créer.

Le projet européen *Cultural Heritage Experiences through Socio-personal interactions and Storytelling* (CHESS) investigate ainsi à la fois l'expérience de visite narrative personnalisée pour les visiteurs (Vayanou *et al.*, 2012) et la création de ces visites par les experts du musée (Roussou *et al.*, 2015). Du côté des visiteurs, un court questionnaire (Figure 4 gauche) portant sur les préférences culturelles (i.e. type de film et lecture pour les adultes, activité et type de personnage pour les enfants) permet d'attribuer au visiteur un « persona » (Roussou *et al.*, 2013) parmi cinq identifiés pour le Musée de l'Acropole (Athènes, Grèce) ou deux pour la Cité de l'Espace (Toulouse, France). L'application sur tablette propose alors au visiteur de suivre une histoire en fonction du persona lui correspondant le plus. Celle-ci est composée de plusieurs étapes face à différents expôts et peut être enrichie de vidéos, d'images et de jeux en Réalité Augmentée. Le visiteur est guidé à l'aide d'indications visuelles au Musée de l'Acropole, et sur le plan du musée grâce à la géolocalisation à la Cité de l'Espace. Du côté des spécialistes du contenu, un outil d'édition (Figure 4 droite) leur permet de créer chaque portion d'histoire, de les associer à des points d'intérêts dans le musée et à des contenus multimédias, et de les organiser dans un graphe permettant de gérer les choix des visiteurs au cours de la visite

(Vayanou *et al.*, 2014). Les spécialistes ont plébiscité l'usage des personas tout au long du processus de création afin de penser l'adéquation ou non des contenus créés en fonction des profils visiteurs possibles. Cependant l'utilisation de personas ne permet pas de prendre en compte les groupes de visiteurs (Katifori *et al.*, 2018), alors que la visite de musée est souvent une activité sociale (Hood, 1983 ; Tolmie *et al.*, 2014). En outre l'utilisation de la représentation en graphe se rapproche plus de la conception de jeux vidéo ou de la programmation qui demandent une expertise technique, et peut se révéler complexe pour les professionnels du musée (Not et Petrelli, 2019).



Figure 4 : Le projet CHES. À gauche le questionnaire pour les enfants (extrait de Roussou & Katifori, 2018). À droite l'outil d'édition pour les professionnels (extrait de Vayanou et al. 2014).

Le projet européen meSch (Petrelli *et al.*, 2013) s'est appliqué quant à lui à fournir une expérience augmentée aux visiteurs à travers l'utilisation d'artefacts tangibles interactifs, ainsi que des méthodes et outils pour leur conception par les professionnels des musées. Au travers d'entretiens avec de nombreux professionnels de différents musées, les chercheurs ont exploré comment ils conçoivent les expositions interactives, sujet peu traité jusqu'alors, les études se concentrant plutôt sur le côté visiteur (Maye *et al.*, 2014). Ils ont également mis en place de nombreux ateliers de co-conception avec les musées partenaires (Avram et Maye, 2016) qui ont permis de créer et déployer plusieurs expérimentations, dont certaines mettaient en œuvre personnalisation, adaptation au contexte et adaptativité (Not et Petrelli, 2018). Ainsi au Museon (La Hague, Pays-Bas), les visiteurs pouvaient choisir en entrant dans l'exposition temporaire un fac-similé parmi six (Figure 5) pour les accompagner pendant leur visite. L'objet choisi déterminait la langue (néerlandais ou anglais) et le point de vue de la narration (soldat, civil ou fonctionnaire). Différentes stations interactives disséminées dans l'exposition permettaient ensuite de jouer un contenu personnalisé en plaçant l'objet sur le socle RFID prévu à cet effet. La comparaison de cette interaction avec une interface de choix sur un téléphone portable a démontré la préférence des utilisateurs pour les interactions tangibles (Petrelli et O'Brien, 2018). Deux autres expérimentations en Italie permettaient de choisir la thématique du contenu diffusé : soit en fonction d'une carte choisie sur le moment parmi quatre par le visiteur et glissée dans une ceinture portée à sa taille, combinée avec les informations d'une broche indiquant la catégorie d'âge (adulte/enfant) et la langue (Nagià Grom, Trentino), soit en plaçant un galet (dont la couleur indique la langue) dans des emplacements prévus à cet effet dans l'exposition (Museo della Guerra, Rovereto). La visite était complétée par une carte postale personnalisée reprenant l'expérience du visiteur et distribuée à la sortie des différentes expositions. La personnalisation est limitée dans ces exemples à un petit nombre de

caractéristiques : l'endroit où le visiteur se situe, son envie d'en savoir plus, la langue, une tranche d'âge et/ou le point de vue de la narration.



Figure 5 : le projet meSch au Museon (La Hague, Pays-Bas), à gauche les artefacts tangibles et à droite une station interactive activée avec le « brassard du fonctionnaire ». Images extraites de (Petrelli et O'Brien, 2018).

Le projet meSch a cependant permis de recenser un grand nombre de caractéristiques possibles pour la personnalisation, en croisant une analyse de la littérature existante et des ateliers de co-conception avec des professionnels des musées. Les caractéristiques issues de la littérature sont regroupées en cinq catégories : le profil fixe du visiteur (âge, personnalité, type d'apprentissage, intérêts généraux, connaissances, situation de handicap), le modèle de visiteur pour la visite en cours (motivations, intérêts et attentes, historique de visite, fatigue, contraintes comme le temps disponible, etc.), le contexte social d'interaction (positionnement, proximité, interactions avec les objets et au sein du groupe ou avec d'autres groupes), le modèle de l'environnement (disposition physique de l'exposition, conditions météorologiques, bruit, affluence) et enfin les caractéristiques du contenu (type de média, intrigue et caractéristiques de l'histoire). Le croisement avec les envies des professionnels du musée a fait émerger de nouvelles caractéristiques plus tournées vers les émotions des visiteurs (chercher la surprise, selon leur humeur) et à leur état affectif (par exemple, comment l'exposition est liée à leur vie quotidienne) que vers l'information fournie (les styles d'apprentissage et styles de visite n'ont par exemple pas été évoqués). Les auteurs soulignent la nécessité d'une stratégie pour aider les professionnels des musées à prioriser les caractéristiques parmi les nombreuses possibles au moment de la création des visites personnalisées (Not et Petrelli, 2018). Ils recommandent de ne pas se contenter de caractéristiques simples comme l'âge pour la personnalisation (les enfants pouvant être experts si le sujet les passionne), de donner un rôle actif aux visiteurs dans le choix et le contrôle de leur visite (au-delà du simple questionnaire ou de caractéristiques inférées de manière implicite), et enfin de donner la main aux professionnels des musées sur le contenu et les histoires racontées ainsi que les niveaux de personnalisation.

Pour ce faire, le consortium européen a également fourni des outils et des méthodes pour permettre aux conservateurs de construire les objets interactifs, les scénarios et les contenus associés. Ils proposent ainsi un ensemble de cas d'usage tirés des ateliers de co-conception (Avram et Maye, 2016), accompagnés d'un kit d'objets tangibles « *plug and play* » (Kubitza et Schmidt, 2015) et d'un outil d'édition (Figure 6) conçus pour aider les professionnels des musées à réutiliser, recomposer et créer leurs propres installations interactives. Cet

environnement d'édition conçu spécifiquement pour des utilisateurs finaux non techniciens, se décompose en quatre composants : 1) le récit, c'est-à-dire l'ensemble des contenus culturels choisis par les professionnels et annotés selon des dimensions sémantiques (le contexte, la thématique, la langue, etc.), 2) le système, *id est* les possibilités techniques du dispositif matériel (détection de proximité, d'orientation, de mouvement, etc.), 3) le dispositif matériel en lui-même (le distinguer de ces capacités permet une plus grande modularité) et 4) le script d'interaction, c'est-à-dire les règles permettant de lier les interactions des visiteurs sur le dispositif avec les contenus. Les auteurs décrivent une expérience de visite interactive comme une « recette », réutilisable et partageable avec d'autres musées, où les conservateurs peuvent éditer le contenu, tandis que l'équipe technique peut modifier le matériel utilisé, et les muséographes les règles d'interaction et d'adaptation au contexte (Not et Petrelli, 2019). Ce système se concentre sur la séparation du contenu, du contexte et de l'interaction afin de permettre aux professionnels des musées de réutiliser et concevoir des expériences de visite tangibles riches, personnalisées et adaptatives selon certaines des catégories de caractéristiques listées plus haut. Cependant, il ne propose pas de moyen pour les professionnels des musées de se projeter sur les multiples caractéristiques des profils des visiteurs pour lesquels ils créent ces contenus.

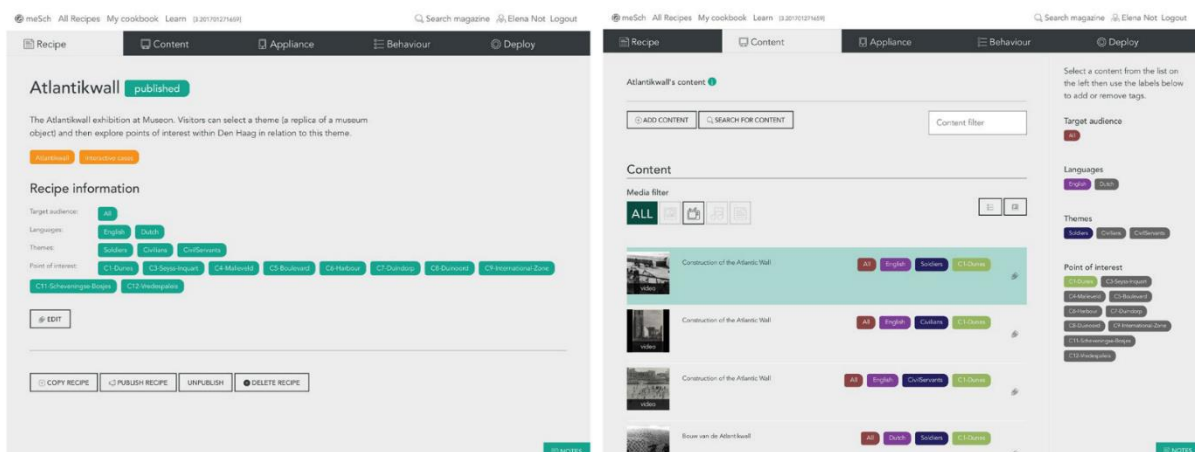


Figure 6 : Projet meSch, l'outil d'édition pour les professionnels des musées. À gauche l'onglet « recette », à droite l'onglet des contenu annotés. (Images extraites de Not et Petrelli, 2019).

Ces projets abordent donc la création des contenus et des expériences de visite interactives et personnalisées par les professionnels des musées eux-mêmes. Ils insistent sur l'importance de permettre aux professionnels des musées d'avoir la main sur la création du contenu et des scénarios, et de leur fournir des moyens de se projeter sur les profils de visiteur pendant ce processus. Le projet meSch liste un grand nombre de caractéristiques à prendre en compte, et souligne la complexité pour le faire. Cependant, aucun de ces projets n'apporte de support aux professionnels des musées dans la stratégie de gestion des nombreuses caractéristiques possibles des visiteurs.

### 2.1.3 Approches muséologiques de la personnalisation

Les études des publics dans les musées et les recherches en muséologie montrent que la visite d'un musée est influencée par de nombreux critères liés aux identités multiples des visiteurs ou aux contextes variés de leur visite (Eidelman, Gottesdiener et Le Marec, 2013). Ainsi, Falk

extrait de ses études des visiteurs cinq grand types de visiteurs et définit les processus internes qui les motivent : les *explorateurs* sont motivés par la curiosité ; les *facilitateurs* accompagnent et facilitent l'expérience de leurs compagnons de visite ; les visiteurs *en recherche d'expérience* visitent par plaisir et pour la renommée du lieu (par exemple les touristes) ; les *professionnels* et les *passionnés* cherchent à approfondir leurs connaissances ; et enfin les « *rechargers* » cherchent à « recharger leurs batteries », la visite est alors essentiellement contemplative (Falk, 2009). Cependant, ces catégories ne sont pas exclusives et un visiteur peut avoir des motivations se retrouvant dans plusieurs d'entre elles ou différant selon le moment et l'humeur (Davies et Heath, 2014).

D'autres modèles existent, ainsi Levasseur et Veron (1983) définissent quatre stratégies de visite à partir de l'observation systématique des comportements des visiteurs dans une exposition : les « *fourmis* » suivent systématiquement le sens de visite en restant proches du mur et des cartels, s'arrêtent fréquemment et restent longtemps dans l'exposition (visite proximale) ; les « *papillons* » zig-zagent de gauche à droite mais suivent l'ordre de l'exposition avec un nombre d'arrêt moyen et un temps semi-long (visite pendulaire) ; les « *poissons* » visitent rapidement « entre deux eaux » au centre de la pièce en regardant de loin et indifférents à l'ordre chronologique (visite glissement) ; et enfin les « *sauterelles* » font des bonds entre les expôts qui les intéressent sans suivre le sens de visite, s'arrêtent peu et restent un temps court dans l'exposition (visite punctum). Ces catégories ne représentent pas des types de personnalités et peuvent varier d'une exposition à l'autre en fonction de l'intérêt éprouvé par le visiteur pour le sujet.

Dans le chapitre 1.2 de leur livre récent sur l'IHM dans le domaine muséal, Hornecker et Ciolfi (2019) recensent un certain nombre de classifications issues de la littérature en muséologie. Par exemple les six facteurs de motivation des visiteurs selon Perry (2012) sont : la communication, la curiosité, la confiance, la remise en question, le contrôle et le jeu ; et les quatre grands types d'expérience satisfaisante pour les visiteurs selon Pekarik et al. (1999) sont : l'expérience des objets, l'expérience cognitive, introspective et sociale. Cependant Hornecker et Ciolfi soulignent que même si les aspects démographiques et les caractéristiques des visiteurs sont importantes à prendre en compte, les approches de conception se basant sur des catégories rigides ne peuvent pas mener à des interfaces pertinentes et suffisamment flexibles pour prendre en compte la variabilité des visiteurs. De même, elles mettent en garde contre la catégorisation des visiteurs selon leurs comportements lors de la visite (temps passés devant les œuvres, chemin suivi, regard, etc.), qui peut manquer de finesse et conduire à des erreurs d'interprétation. Elles indiquent ainsi par exemple que la participation périphérique est un aspect important de la dynamique de coordination dans un groupe, et qu'un coup d'œil passif n'est donc pas forcément le signe d'un intérêt moindre. A l'inverse, un visiteur peut passer du temps devant une œuvre mais effectuer une action toute autre que celle de la regarder (envoyer un message sur son téléphone, discuter d'autre chose avec ses compagnons de visite, s'asseoir pour se reposer etc.).

Les études des publics ont donc recensé de nombreux types de profils, de motivation et d'expérience des visiteurs. Cependant, ceux-ci ne sont pas assez flexibles pour prendre en compte la variabilité des visiteurs et considèrent rarement les groupes de visiteurs.

## 2.2 Les interactions tangibles

La partie précédente nous a permis de détailler les différentes approches de la personnalisation dans les musées. Les travaux les plus avancés montrent que les interactions utilisateurs tangibles permettent de personnaliser l'expérience de visite tout en favorisant l'engagement des visiteurs et leurs liens sociaux. Ce type d'interaction est donc particulièrement adapté pour les visiteurs, mais il est néanmoins largement moins exploré pour les professionnels du musée. Pourtant, les bénéfices des interfaces tangibles ont été démontrés dans de nombreux autres domaines professionnels. Nous détaillons dans ce chapitre la définition, les cadres théoriques ainsi que les propriétés des interactions tangibles. Puis, nous explorons les cas d'usage des TUI pour les visiteurs de musée et pour les professionnels en général, afin de déterminer en quoi les TUI pourraient répondre aux besoins à la fois des visiteurs et des professionnels du musée dans le contexte de la personnalisation des parcours de visite.

### 2.2.1 Définitions et propriétés

#### *Définitions et cadres conceptuels*

Le paradigme de l'interaction tangible trouve sa source dans le travail de Fitzmaurice, Ishii et Buxton (1995) qui introduit le concept d'« *Interfaces Utilisateur Saisissables qui permettent le contrôle direct d'objets électroniques ou virtuels grâce à des poignées physiques de contrôle* » (« *Graspable User Interface that allow direct control of electronic or virtual objects through physical handles for control.* »). Il décrit ainsi des blocs en bois, des « *bricks* », dont la manipulation permet de contrôler un contenu numérique sur une surface interactive (Figure 7, gauche). Ces contrôles physiques permettent une manipulation directe du contenu – translation, rotation, agrandissement – telle qu'elle est faite à l'heure actuelle sur les surfaces tactiles multipoints. Ils fournissent en outre une confirmation tactile de la manipulation (par la sensation du cube), une trace persistante de l'interaction (par le positionnement du cube) et une segmentation des commandes (début et fin de l'interaction marqués par la saisie et la dépose du cube) qui peuvent de plus être spécialisées (un cube pour une fonctionnalité). Ce système permet de multiplexer les entrées dans l'espace (manipulation de plusieurs cubes) plutôt que dans le temps (plusieurs clics successifs avec la souris), de supporter la manipulation à deux mains et de réduire la distance entre dispositif d'entrée et objet de l'interaction.

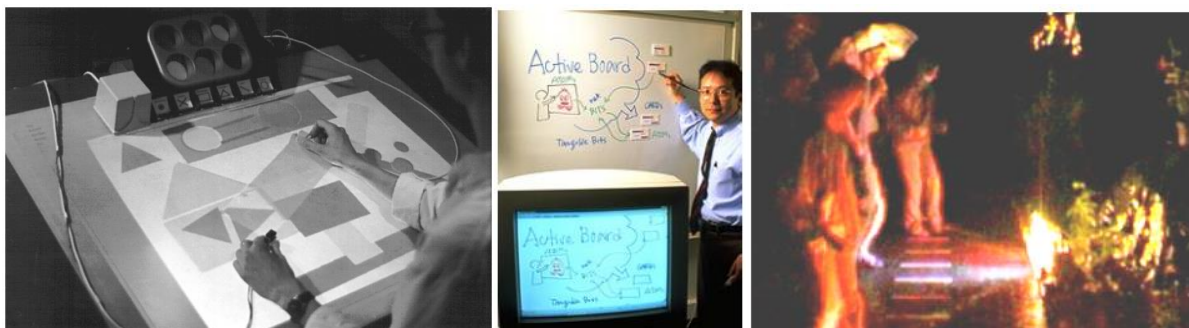


Figure 7 : Grasp Draw et Active Desk mettant en œuvre le concept de « grasposable interface » (image extraite de Fitzmaurice, Ishii and Buxton, 1995), transBOARD un tableau blanc augmenté avec des hyperCARDS (image extraite de Ishii and Ullmer, 1997), CLAVIER, un clavier musical et lumineux installé le long d'un chemin (image extraite de Hornecker and Buur, 2006)



Cette idée est développée et élargie par Ishii et Ullmer (1997). Ils développent le concept de « *Bits Tangibles* » (« *Tangible Bits* ») permettant aux utilisateurs de saisir et manipuler directement les bits numériques au travers d'objets physiques du quotidien (Figure 7, centre), et de prendre conscience des bits numériques en arrière-plan en utilisant des affichages ambiants périphériques tels que la lumière, le son ou le mouvement de l'air. « *Les interfaces graphiques ne tirent pas pleinement parti de la richesse des sens humains et des compétences que les gens ont développées au cours d'une vie entière d'interactions avec le monde physique. Notre tentative est de transformer les "bits peints" en "bits tangibles" en tirant parti des multiples sens et de la multimodalité des interactions humaines avec le monde réel. Nous pensons que l'utilisation d'objets saisissables et d'affichages ambiants nous conduira à une expérience multisensorielle de l'information numérique beaucoup plus riche.* » (*ibid.*). Ils définissent ainsi un nouveau type d'IHM qu'ils nomment « *les Interfaces Utilisateurs Tangibles* » (« *Tangible User Interfaces* », TUI). Les TUI permettent d'« *augmenter le monde physique réel en couplant l'information numérique avec les objets du quotidien et l'environnement [...] transformant le monde lui-même en interface* ».

Ce concept a été étendu par Hornecker et Buur (2006) qui proposent d'englober les TUI dans l'appellation plus large d'« *Interactions Tangibles* », désignant par ce terme chapeau « *les systèmes qui reposent sur l'interaction incarnée, la manipulation tangible, la représentation physique des données et l'intégration dans l'espace réel.* ». Au-delà du couplage entre les données numériques et les données physiques, Hornecker et Buur proposent de prendre également en compte les aspects sociaux de l'interaction, notamment pour la collaboration (Figure 7 droite). Ils définissent ainsi un cadre conceptuel pour penser les effets sociaux des interfaces physiques et matérielles à travers quatre thèmes : la qualité tactile de la « *manipulation tangible* », l'appropriation par les mouvements dans l'espace au travers des « *interactions spatiales* », la « *facilitation incarnée* » c'est-à-dire l'impact de la configuration des objets matériels et de l'espace sur la collaboration au sein des groupes et « *l'expressivité des représentations* » tangibles et numériques ainsi que leur équilibre respectif.

Cette thèse considère le contexte des Interactions Tangibles au sens large, puisque certains de nos travaux explorent les interactions spatiales et la facilitation incarnée, notamment pour les groupes de visiteurs. Nous nous intéressons plus particulièrement aux interactions tangibles dites « *à petits grains* », telles que définies par Couture (2010), où l'utilisateur « *interagit avec de petits objets [qu'il] peut attraper et bouger dans un espace qui est délimité par l'envergure de ses bras* » ; par opposition aux interactions « *à gros grains* » pour lesquelles « *l'interaction implique le corps entier et s'opère au sein d'espace interactif* ». Ces dernières nécessitent en effet une technologie embarquée dans le corps et les vêtements de l'utilisateur qui seraient trop intrusifs dans notre contexte d'usage.

### *Bénéfices et limitations*

De nombreux travaux se sont intéressés aux avantages des interactions tangibles pour la collaboration, notamment pour l'apprentissage collaboratif (Falcão et Price, 2009 ; Kubicki, Lepreux et Kolski, 2011 ; Schneider *et al.*, 2011). Hornecker (2002) recense les facteurs favorables des *interfaces saisissables* et leurs effets potentiels sur l'usage coopératif. Ainsi le partage corporel de l'espace, la visibilité constante des objets d'interaction, la manipulation

haptique directe et l'accès en parallèle aux objets de contrôle favorisent la signification concrète des actions, la focalisation des utilisateurs, la conscience collective, l'externalisation, l'intuitivité et la participation active. (Figure 8). Hornecker et Buur (2006) énumèrent trois facteurs des TUI qui supportent la collaboration colocalisée : 1) la familiarité des objets d'interaction abaissent le seuil d'engagement avec le système augmentant ainsi la probabilité que les utilisateurs collaborent ; 2) les points d'accès multiples permettent d'éviter tout goulot d'étranglement pour l'interaction et favorisent donc l'usage parallèle et simultané ; 3) l'interaction avec des objets physiques est visible par toutes les personnes du groupe et permet donc une meilleure prise de conscience et une meilleure coordination.

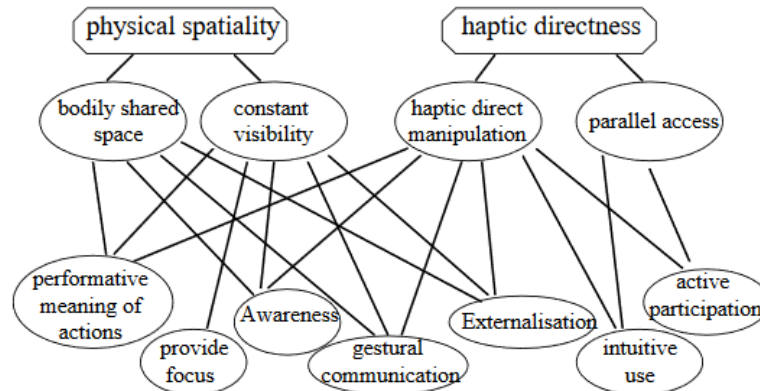


Figure 8 : Rapport entre les facteurs bénéfiques et les effets des interfaces saisissables pour la collaboration. Illustration extraite de (Hornecker, 2002)

La physicalité des objets et de notre corps joue un rôle central dans la manière dont nous expérimentons et comprenons le monde qui nous entoure (Klemmer, Hartmann et Takayama, 2006). Ainsi Klemmer *et al.* se basent sur les perspectives de la théorie de l'éducation, de la recherche gestuelle et de la science cognitive pour définir cinq aspects de la « réflexion tangible » (*tangible thinking*). La première « réflexion par l'action », décrit comment la pensée et l'action sont profondément reliées pour coproduire apprentissage et raisonnement. La deuxième « performance », décrit comment l'action physique peut être à la fois plus rapide et plus nuancée que la cognition symbolique. La « visibilité » décrit le rôle des artefacts dans la collaboration et la coopération, reprenant les arguments évoqués ci-dessus. La notion de « risque » explore comment l'incertitude et la vulnérabilité corporelle façonnent la manière d'interagir entre êtres humains et avec les objets numériques, favorisant ainsi la confiance, l'engagement et la responsabilité. Enfin la notion de « densité de la pratique » suggère que la pratique réelle est souvent plus complexe que la modélisation informatique que les concepteurs peuvent en faire. Une interaction incarnée laissant la place aux improvisations du monde réel peut donc être plus prudente et permettre une meilleure acceptation par les utilisateurs finaux. De plus, les travaux en *cognition incarnée (embodied cognition)* montrent que les mouvements de la main et du bras favoriseraient la mémoire de travail et la mémoire spatiale (Jetter *et al.*, 2012).

De nombreuses études ont démontré que les artefacts physiques favorisent la cognition en servant d'« auxiliaires de réflexion » (« *thinking props* ») et de mémoire externe (Shaer et Hornecker, 2010), reprenant ainsi les travaux sur la *cognition distribuée* (Hollan, Hutchins et Kirsh, 2000) et les *représentations externes* (Scaife et Rogers, 1996). Les travaux fondateurs de

Kirsh et Maglio (1994) définissent une distinction entre les actions *pragmatiques*, c'est-à-dire ayant une conséquence fonctionnelle permettant d'atteindre un but (déplacer les pièces du Tetris pour compléter une ligne), et les actions épistémiques qui n'ont pas de conséquence fonctionnelle mais permettent de mieux comprendre le problème (faire tourner les pièces du Tetris pour voir les différentes manières dont elles peuvent s'insérer). Les actions épistémiques permettent d'explorer des options et de garder une trace de la réflexion (comme par exemple mettre en pile de dix les pièces dans un exercice de décompte). Des actions épistémiques comme pointer les objets, changer leur arrangement, les tourner, les cacher, les annoter peuvent ainsi diminuer la charge cognitive des utilisateurs en leur permettant d'utiliser des ressources externes à leur pensée (Kirsh, 1995). Les TUI, en permettant de manipuler les objets sans interpréter systématiquement cette manipulation (« *out-of-band interaction* » ; Ullmer, Ishii et Jacob, 2005), favorisent ainsi les actions épistémiques et donc la diminution de la charge cognitive par l'externalisation dans des objets physiques.

Une des principales limitations des TUI réside dans la difficulté à étendre les solutions à des problèmes plus complexes traitant de grands nombres de paramètres ou de données (Shaer et Hornecker, 2010). En effet, les objets physiques prennent de la place et augmenter le nombre d'objets implique donc d'augmenter l'espace nécessaire pour les manipuler. L'utilisateur doit alors faire des déplacements plus grands pour les saisir, il peut avoir du mal à trouver l'objet qui l'intéresse et lorsque l'espace de travail est plein certains objets doivent être rangés pour avoir suffisamment d'espace pour manipuler. Cela rend donc par exemple complexe la comparaison de plusieurs solutions, puisque la première devra être rangée afin de pouvoir construire la seconde (contrairement à des applications GUI qui peuvent être sauvegardées, fermées et réouvertes simplement). De plus ces objets risquent d'être perdus, ou volés dans le cas d'usage dans des espaces publics. Un autre problème réside dans le fait que les objets tangibles sont rigides et statiques, et sont donc moins malléables, faciles à créer, à modifier et à répliquer que des objets numériques. « Annuler » une action automatiquement est ainsi beaucoup plus compliqué en tangible que sur des interfaces clavier/souris (Ctrl-Z). Nombre de ces limitations sont levées par le prototype inForm (Follmer *et al.*, 2013) – un affichage de forme en 2,5D dont les « pixels tangibles » sont actionnés mécaniquement – qui permet de combiner malléabilité du numérique et tangibilité de l'interaction, mais reste pour l'instant peu accessible (coût et espace nécessaire) pour des utilisations grand public. *TacSel*, une solution réduite fonctionnelle avec des surfaces tactiles sur chaque « pixel tangible » pourrait permettre à terme une intégration simplifiée de ce type de technologie (Antonio Gómez Jáuregui et Couture, 2019).

### 2.2.2 Cadres théoriques

De nombreux cadres théoriques ont été proposés pour classier et penser les TUI (Mazalek et Van Den Hoven, 2009 ; Shaer et Hornecker, 2010). Nous détaillons ici uniquement ceux sur lesquels nous nous appuyons dans la suite pour classier et discuter nos travaux.

#### *Token+constraint*

Ullmer, Ishii et Jacob (2005) définissent trois grands types de TUI (Figure 9) : 1) les « *surfaces interactives* » (*interactive surface*) où les utilisateurs manipulent des objets sur des surfaces

planes augmentées numériquement ; 2) les « *constructions par assemblage* » (*constructive assembly*) basées sur l'assemblage de briques modulaires ; et 3) les systèmes « *token+constraint* »<sup>9</sup> composés de jetons tangibles (*tokens*) et de réceptacles physiques pouvant les contenir (*constraints*).

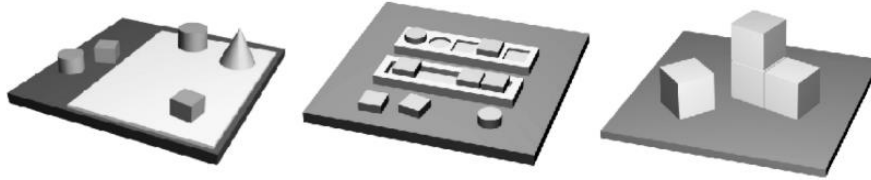


Figure 9 : Illustration des approches « surfaces interactives », « token+constraint » et « constructions par assemblage », tirée de (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).

L'article séminal présente et détaille le nouveau concept d'interface *token+constraint* en l'illustrant de cas tirés de la littérature. Les *tokens* sont des objets physiques discrets, reconfigurables dans l'espace qui peuvent incarner des données numériques (documents, paramètres, messages, etc.). Les *constraints* sont des réceptacles physiques qui incarnent des fonctions numériques à appliquer aux données (e.g. sauvegarder, affecter, lire, etc.). Un *token* peut ainsi être associé avec une *constraint* lorsqu'il est placé physiquement à l'intérieur de celle-ci. Cette phase d'association peut être suivie d'une phase de manipulation de la pièce limitée au maximum à un degré de liberté par la restriction physique de la *constraint* (Figure 10). Ce cas simple peut être décliné en cas d'usage plus complexes, impliquant plusieurs *tokens* et/ou plusieurs *constraints*, voir des *constraints* imbriquées dans des *tokens*. Ainsi, les *tokens* peuvent être transférés entre différentes *constraints*, pour par exemple, leur appliquer des fonctions numériques différentes. Une *constraint* peut également contenir plusieurs *tokens*, le positionnement relatif des *tokens* les uns par rapport aux autres (ordre, distance) peut alors être interprété par le système comme une entrée supplémentaire de l'utilisateur.

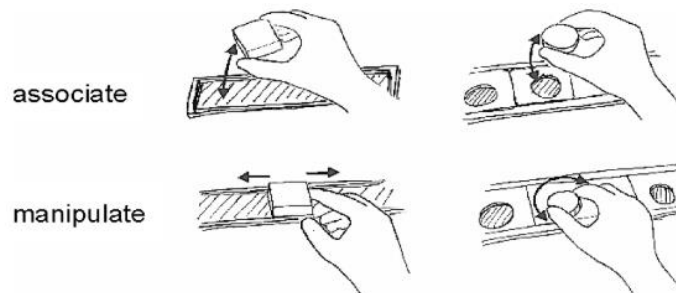


Figure 10 : Phases d'association et de manipulation de *token+constraint* (illustration extraite de Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).

Ces différentes associations et manipulations permettent de constituer une syntaxe d'interaction riche et expressive. Le paradigme permet ainsi d'incarner non seulement la donnée numérique mais également la syntaxe de manipulation de celle-ci à travers la compatibilité et la complémentarité des formes des *tokens* et des *constraints*. « *En structurant*

<sup>9</sup> Le terme « *token+constraint* » étant écrit sans espace pour « exprimer l'interdépendance forte entre les deux éléments » (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005), il est ici considéré comme un nom propre que nous avons choisi de ne pas traduire en français. Pour plus de cohérence, nous conservons également les appellations anglaises pour « *token* » et « *constraint* » tout au long du manuscrit.

*et en limitant mécaniquement les tokens qui peuvent être accueillis et les configurations qu'ils peuvent prendre, les constraints peuvent exprimer et renforcer partiellement la syntaxe des opérations numériques qui leur sont associées.* » (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).

Selon les auteurs, les interfaces de type *surfaces interactives* et *constructions par assemblage* sont utiles pour des représentations géométriques, tandis que le paradigme *token+constraint* est plus pertinent pour interagir avec des données abstraites. Ils recensent également plusieurs avantages de ce type d'interaction par rapport aux *surfaces interactives*. Ainsi l'usage de *constraints* peut permettre, entre autre, l'augmentation de la conscience kinesthésique (*i.e.* la conscience de la position et du mouvement du corps dans l'espace ; Rasch et Burke, 1972), la diminution de l'attention visuelle ou l'amplification des retours haptiques, et cela grâce à des technologies de capteurs plus simples à mettre en place car les zones de détection sont limitées aux *constraints*. La délimitation claire entre zones où l'interaction est interprétée par le système (« *in-band* », dans les *constraints*) et celles où l'utilisateur peut manipuler librement (« *out-of-band* ») peut permettre en outre la mise en place d'actions épistémiques, et donc favoriser l'externalisation de la cognition comme évoqué section 2.2.1.

Le concept de *token+constraint* a été généralisé par Calvillo-Gámez *et al.* (2003) avec le paradigme TAC. Celui-ci permet d'exprimer tous les types de TUI (les surfaces interactives, les constructions par assemblages et d'autres TUI non couvertes par la classification de Ullmer *et al.*) en considérant que n'importe quel objet peut être contraint, quelle que soit sa forme ou sa nature, et que la main peut être considérée comme une contrainte. Les bénéfices des *token+constraint* avancés par Ullmer *et al.* par rapport aux autres types de TUI reposent sur la complémentarité portée par les formes similaires et contraignantes des *tokens* et des *constraints* et ne peuvent ainsi pas être transférés au paradigme TAC. Cette généralisation leur permet d'ébaucher un langage de description pour aider à la définition et au développement futur de prototypes tangibles.

### *Taxonomie Incarnation-Métaphore*

Fishkin (2004) propose une taxonomie permettant de classifier, comparer et concevoir les interfaces tangibles selon deux axes. Le premier axe met en avant une des principales caractéristiques des TUI : elles permettent de rapprocher, voire de fusionner, les zones d'entrée et de sortie de l'interaction. Cet axe est nommé « *incarnation* » (« *embodiment* ») de l'état numérique de l'objet à l'intérieur de celui-ci. Il est décomposé en quatre niveaux : *distant* (la sortie est éloignée de l'entrée, comme une télécommande et un téléviseur), *environnemental* (la sortie est autour de l'utilisateur, par exemple sous forme de sons), *proche* (la sortie est proche de l'entrée, par exemple sur une table tactile sous l'objet manipulé), *complète* (le dispositif de sortie est le dispositif d'entrée). Le deuxième axe repose sur un concept largement utilisé en IHM pour faciliter la compréhension des utilisateurs : la *métaphore*. Plus spécifiquement pour les TUI, Fishkin pose la notion de métaphore en ces termes : « *est-ce que l'effet d'une action de l'utilisateur sur le système est analogue à l'effet dans le monde réel d'une action similaire ?* ». Pour quantifier cette notion, il définit deux types de métaphores : de *nom* et de *verbe*. La première correspond à la forme de l'objet tandis que la seconde correspond à son mouvement. Fishkin propose ainsi cinq niveaux selon le deuxième axe « *métaphore* » : 1) *aucune* (pas d'analogie avec le monde réel), 2) *métaphore de nom* (la

forme, le son, l'aspect d'un objet est similaire à celui d'un objet courant, mais pas l'action opérée sur celui-ci), 3) *métaphore de verbe* (à l'inverse, l'action est similaire à celle de la vie courante, mais la forme de l'objet n'est pas en lien), 4) *métaphore de nom et de verbe* (l'analogie est complète mais l'objet est toujours distinct de l'objet réel, et enfin 5) *complète* (au-delà de la métaphore, il n'y a même plus d'analogie dans l'esprit de l'utilisateur, celui-ci manipule directement l'objet du monde réel, qui est modifié numériquement en conséquence). Cette taxonomie n'a pas pour vocation de juger la qualité d'une TUI en fonction de son niveau d'incarnation ou de métaphore. La métaphore peut par exemple être inutile voir contre-productive pour des cas d'usage génériques de contrôleurs tangibles (comme les *Bricks* de Fitzmaurice, Ishii et Buxton, 1995). Cette classification permet cependant de faire des choix éclairés lors de la conception de systèmes tangibles, et de comparer des systèmes existants.

### *Continuum Interaction-Attention*

En s'inspirant de la vision des « technologies calmes » pour l'informatique ubiquitaire de Weiser et Brown (1997), Bakker et Niemantsverdriet (2016) proposent un continuum pour appréhender l'interaction à divers niveaux d'attention. En effet, au quotidien, nous pouvons utiliser un même système comme l'allumage automatique de la lumière dans le hall d'un immeuble selon plusieurs niveaux d'attention : en y prêtant attention au début où le système est installé, afin de comprendre à quel endroit il se déclenche (*interaction explicite*), et en entrant dans le hall sans y prêter attention une fois l'habitude prise (*interaction implicite*). Les systèmes informatiques se concentrent souvent sur ces deux types d'interaction, cependant un troisième type existe : si les usagers sont par exemple en train de discuter dans le hall de l'immeuble sans bouger, la lumière peut parfois s'éteindre, ils effectuent alors un mouvement ample du bras afin de rallumer la lumière, tout en continuant à discuter et sans y porter une attention précise (*interaction périphérique*). Les frontières entre ces trois types d'interaction ne sont pas discrètes, Bakker et Niemantsverdriet proposent ainsi de penser les niveaux d'attention et d'interaction selon un continuum interaction-attention, afin d'encourager la conception de système permettant de passer de l'un à l'autre de ces types d'interaction selon les moments et les besoins des utilisateurs (Figure 11).

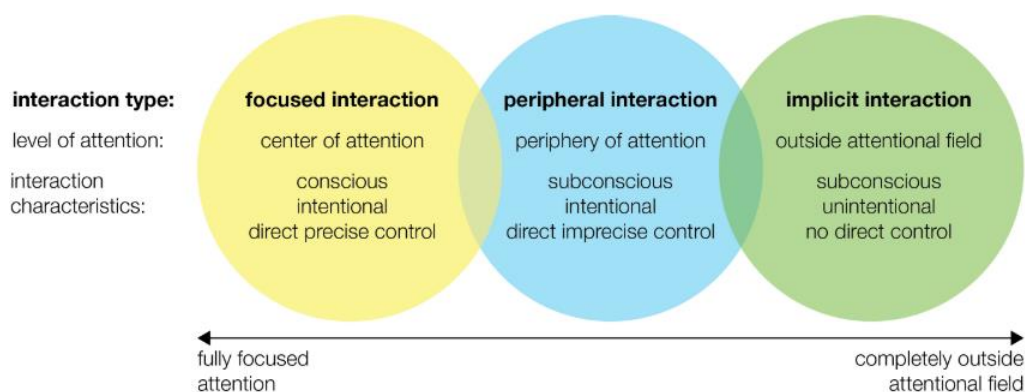


Figure 11 : Le continuum interaction-attention : les différents niveaux d'interaction (explicite, périphérique et implicite) sont classés selon le niveau d'attention nécessaire, la précision et l'intentionnalité du contrôle. Illustration extraite de (Bakker et Niemantsverdriet, 2016).

Les interactions tangibles sont identifiées comme un moyen approprié de traiter l'interaction périphérique (Bakker, van den Hoven et Eggen, 2015). Les interfaces tangibles sont en effet

accessibles directement et facilement pour des routines quotidiennes d'utilisation, sans besoin par exemple de déverrouiller l'écran comme sur un smartphone. Elles permettent également de faire une transition douce entre les différents niveaux du continuum, notamment lorsque les différents niveaux de contrôle sur l'objet tangible sont cohérents et qu'il est bien intégré dans son contexte d'usage.

Ces différents cadres conceptuels permettent donc de comprendre et d'envisager l'incarnation physique de la syntaxe numérique et la cognition externalisée (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005), le niveau d'incarnation et de métaphore des interfaces tangibles (Fishkin, 2004), l'aspect social de la manipulation tangible (Hornecker et Buur, 2006), ainsi que le continuum d'interaction-attention que les TUI peuvent couvrir (Bakker et Niemantsverdriet, 2016). Nous allons à présent détailler des cas d'usage concrets des TUI pour les visiteurs dans les musées, ainsi que pour les professionnels en général.

### 2.2.3 Les dispositifs interactifs tangibles dans les musées

De très nombreux projets de recherche ont permis de concevoir et d'analyser des dispositifs numériques dans les musées ainsi que leur impact sur l'expérience de visite, l'engagement, la compréhension et l'apprentissage des visiteurs. Hornecker and Ciolfi (2019) en recensent les plus représentatifs (*ibid.*, Chapitre 2) et les organisent selon deux axes : le cadre d'interaction – c'est-à-dire comment les dispositifs s'insèrent dans le contexte physique du musée – et leur forme d'augmentation numérique. Ainsi les dispositifs numériques peuvent être des *installations autonomes*, sans liens avec d'autres installations ou expôts, souvent des écrans tactiles ou tables multipoints ; des *dispositifs mobiles*, dans le courant du Bring Your Own Device (BYOD) où le contenu multimédia est déclenché explicitement par le visiteur, parfois en fonction de sa position (QRCode, NFC) ou automatiquement selon sa géolocalisation (iBeacon, GPS) ; et enfin les *assemblages* faits de plusieurs dispositifs répartis dans l'exposition permettant d'accéder à des morceaux d'un contenu plus vaste. Du point de vue de la forme du dispositif numérique, les autrices les répartissent en trois grandes catégories : les interactions tangibles et incarnées, la réalité étendue (Réalité Augmentée, Réalité Virtuelle et Réalité Mixte) et les interactions multisensorielles. Nous nous concentrons ici sur les interactions tangibles et décrivons à la suite quelques travaux d'intérêt parmi le grand nombre de projets de TUI existants (55 académiques et 13 non-académiques entre 2001 et 2015 d'après le recensement de la thèse de Duranti, 2017).



Figure 12 : Gauche) Interface de programmation tangible (Horn *et al.*, 2009). Centre) Gestes épistémiques et de collaboration avec les interacteurs tangibles (Ma *et al.*, 2015). Droit) Interacteur tangible de BacPack (Loparev *et al.*, 2017). Les images sont tirées des articles cités.

Horn *et al.* (2009) ont comparé l'utilisation d'une interface tangible et d'une interface graphique avec une souris dans le cadre d'une exposition interactive sur la programmation informatique et la robotique conçue pour le Musées de Sciences de Boston (Figure 12 gauche). Ils ont démontré que les deux types d'interface étaient bien compris, mais que l'interface tangible incitait plus de visiteurs à essayer le dispositif, notamment les enfants et plus largement encore les petites filles. La collaboration active, c'est-à-dire la participation active simultanée, a également été plus importante dans le cas de l'interface tangible. L'engagement des visiteurs, c'est-à-dire le temps passé sur le dispositif, était quant à lui plus important dans le cas de manipulation à plusieurs, quel que soit le type d'interface. Enfin le type de dispositif a modifié les comportements des groupes familiaux, passant d'un contrôle par le parent dans le cas du GUI à un contrôle par l'enfant et un rôle de conseil du parent dans le cas de l'interface tangible. D'autres comparaisons entre des interacteurs tactiles ou tangibles sur des tables multipoints (Figure 12 centre et droite) dans des musées de sciences (Ma *et al.*, 2015 ; Loparev *et al.*, 2017) ont confirmé que les interacteurs tangibles encourageaient la première interaction nécessaire à un engagement plus continu et attiraient plus de groupes. Ils offraient également plus d'opportunités pour la collaboration et l'expérimentation (notamment au travers d'actions épistémiques, Figure 12 centre).



Figure 13 : Gauche) Roue tangible au Musée de l'Homme, l'action physique permet de comprendre les échelles de temps dans l'évolution (photographie Nadine Couture). Droite) BatSim au musée Tudor (illustration Maquil, Moll et Martins, 2017).

L'usage de modules physiques comprenant des leviers ou des roues à tourner est classique dans les musées de sciences et techniques pour expliquer de manière ludique des phénomènes scientifiques (Figure 13 gauche). Des dispositifs tangibles plus complexes peuvent être créés pour s'insérer pleinement dans le contexte de l'exposition et permettre une expérimentation plus aboutie. Ainsi Maquil, Moll et Martins (2017) ont conçu et implémenté *BatSim* (Figure 13 droite), une installation permettant de découvrir de manière ludique les différentes étapes et composants nécessaires à la construction d'une batterie pour le musée Tudor (Luxembourg). Leurs travaux ont souligné l'importance de la conception itérative utilisant différents niveaux de prototypage : 1) prototype papier pour penser la disposition spatiale afin d'optimiser l'accès pour tous les types de visiteurs ; 2) prototype moyenne-fidélité pour la modélisation du problème et des interactions afin que celles-ci soient cohérentes et abordables ; et 3) prototype haute-fidélité et pré-tests in-situ afin de concevoir des retours d'information permettant la compréhension et l'engagement des visiteurs. Les pratiques actuelles des institutions culturelles sont très éloignées de cette méthode de conception itérative et pluridisciplinaire. Certains professionnels des musées tentent de faire évoluer les mentalités pour un accès plus horizontal à la culture, mettant en œuvre le prototypage rapide et les tests



in-situ auprès des visiteurs. Ils ont ainsi créé le hackathon culturel Museomix<sup>10</sup>, un évènement international se déroulant dans plusieurs musées en même temps (14 lieux en 2019). Pendant trois jours, des équipes pluridisciplinaires d'individuels extérieurs au musée hôte conçoivent de nouvelles expériences muséales. Les prototypes fonctionnels sont testés le troisième jour par les visiteurs du musée, parmi lesquels de nombreux dispositifs tangibles et incarnés (Rey, 2017).

Des artefacts reproduisant des objets de la collection peuvent également être utilisés tout au long de l'expérience de visite, comme évoqué section 2.1.2 dans le projet meSch (Marshall *et al.*, 2016) où différents artefacts donnent au visiteur différents points de vue sur l'exposition du Museon. Une étude les comparant avec une interaction similaire sur téléphone portable et des cartes RFID a montré que les visiteurs préféraient les interactions tangibles (Petrelli et O'Brien, 2018). Ils ont également constaté que le profil des visiteurs (selon ceux définis par Levasseur et Veron, 1983) influençait la préférence pour un type de dispositif et que celui-ci renforçait même le comportement des visiteurs. Enfin leur étude montre que contrairement au courant du BYOD, les visiteurs préfèrent un objet conçu spécifiquement pour l'exposition et se fondant de manière holistique dans l'expérience de visite. Chu *et al.* (2019) démontrent également que l'utilisation d'artefacts dans une narration impliquant les sens et le corps permet au visiteur de contextualiser la signification des artefacts et d'établir des connexions personnelles avec ceux-ci. Des objets plus abstraits peuvent également être utilisés, par exemple pour guider les visiteurs dans leur exploration du musée. Ainsi Vaart et Damala (2015), présentent « *the Loupe* » réalisé dans le cadre du projet meSch et testé au Allard Pierson Museum. À travers une loupe en bois dans laquelle un iPhone est encapsulé, les visiteurs doivent superposer la silhouette d'un objet en Réalité Augmentée avec l'objet réel dans la vitrine pour suivre la progression de la visite et obtenir des informations textuelles. Plusieurs interactions avec *the Loupe* sont possibles comme par exemple la secouer pour arrêter le guidage ou la pencher à gauche ou à droite pour sélectionner du contenu. « *Revealing Flashlight* », expérimenté dans le même musée, utilise une interaction gestuelle au doigt pour afficher des informations complémentaires directement sur l'expôt en Réalité Augmentée (Ridel *et al.*, 2014). Wakkary et Hatala (2007) intègrent de plus la notion de jeux contextuels dans la conception de *ec(h)o*. Ce système de Réalité Augmentée sonore propose des contenus aux visiteurs en fonction de leur position et de leur historique de visite. Le visiteur peut choisir le contenu spatialisé à écouter en tournant un cube tangible asymétrique.

Si les interactions avec des objets tangibles sont en général satisfaisantes, leur conception doit tenir compte de certains risques potentiels. Premièrement, les objets sont manipulés par de nombreux visiteurs et peuvent s'abîmer, être perdus ou volés. Un remplacement régulier doit donc être prévu. Deuxièmement, même si les TUI simulent des interactions classiques avec des objets du quotidien, les visiteurs, habitués à des interactions tactiles avec des écrans ou des smartphones, peuvent être déroutés au premier abord. La signalétique et les indications complémentaires sont alors importantes pour guider les utilisateurs (Hornecker et Ciolfi, 2019).

Les TUI dans les musées favorisent donc la première interaction qui est déterminante pour la suite de l'engagement, ainsi que la collaboration des groupes. Elles sont d'ailleurs plébiscitées

---

<sup>10</sup> <https://www.museomix.org/> consulté le 26/02/2020

par les visiteurs en comparaison avec des dispositifs plus classiques comme des smartphones lorsqu'elles sont bien intégrées dans l'expérience globale de la visite. Cependant et à notre connaissance, les TUI n'ont pas été explorées pour la récolte des informations des groupes de visiteurs dans un musée. Les travaux qui s'en approchent le plus sont ceux autour de VoxBox (Golsteijn *et al.*, 2014), un système tangible modulaire permettant de recueillir les opinions du public lors d'un évènement. Si les usages du tangible ont été largement explorés pour le grand public, leurs applications dans le domaine professionnel restent plus restreintes.

### 2.2.4 Les usages professionnels des interactions tangibles

Les travaux de recherche sur les usages professionnels du tangible ont montré que les TUI peuvent permettre d'optimiser des tâches professionnelles complexes, principalement celles utilisant des données spatiales ou géométriques, comme la planification urbaine (Underkoffler et Ishii, 1999 ; Maquil, Psik et Wagner, 2008 ; Winder et Larson, 2017) ou la manipulation de modèles 3D (Fröhlich et Plate, 2000 ; Garreau, Legardeur et Couture, 2005 ; Reuter *et al.*, 2010). *GeoTUI*, un système conçu pour les géophysiciens, fournit ainsi des outils tangibles en complément d'un système de projection numérique pour sélectionner des plans de coupe sur une carte géographique d'un modèle de sous-sol (Couture, Rivière et Reuter, 2008 ; Rivière, Couture et Jurado, 2009). Le prototype combine les avantages des outils auxquels les géophysiciens sont habitués dans leur environnement classique (papier, stylo et règle) avec des outils puissants de simulation numérique. *GeoTUI* s'est avéré plus performant qu'une interface graphique traditionnelle « clavier souris » pour des tâches expertes en offrant un même espace de perception et d'action. Il a validé que dans des conditions de multiplexage spatial, des outils tangibles spécialisés sont plus performants que des outils génériques.

Les TUI peuvent également être pertinentes dans des cas d'usage impliquant des données abstraites (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005 ; Schneider, Blikstein et MacKay, 2012). *Tangible mtDNA* (Manshaei *et al.*, 2017) propose ainsi d'utiliser des jetons physiques dits « actifs » (c'est-à-dire présentant un écran tactile) sur une table multitouch afin d'étudier les mutations génétiques en biologie. Le dispositif a permis d'améliorer la compréhension, la collaboration et la discussion dans un contexte d'usage professionnel multi-utilisateur. *Senseboard* (Jacob *et al.*, 2002) fournit quant à lui un « tableau blanc » augmenté numériquement ainsi qu'un ensemble d'objets physiques permettant d'organiser, de regrouper et de manipuler des informations abstraites de manière plus efficace que des équivalents purement physiques ou tactiles.

Enfin, *Multi-plié* (Pauchet *et al.*, 2019) et *Gazeform* (Pauchet *et al.*, 2018) ont montré que les TUI peuvent apporter une plus grande efficacité et une meilleure collaboration dans des contextes de travail critiques impliquant des procédures complexes comme le pilotage dans un cockpit d'avion (Letondal *et al.*, 2018). Pour le contrôle aérien, des interactions tangibles mêlant les supports papiers traditionnels avec des fonctionnalités numériques projetées et l'utilisation de stylos interactifs (Letondal *et al.*, 2013) permettent de conserver des mécanismes d'externalisation tels que ceux utilisés de manière efficace et sécurisée par les contrôleurs aériens avec leurs outils habituels (Mackay, 1999).

Les TUI permettent donc dans un contexte professionnel d'allier les avantages du physique et du numérique afin d'améliorer la compréhension et les performances des utilisateurs, ainsi que de faciliter la collaboration et la cognition externalisée.

## 2.3 Conclusion

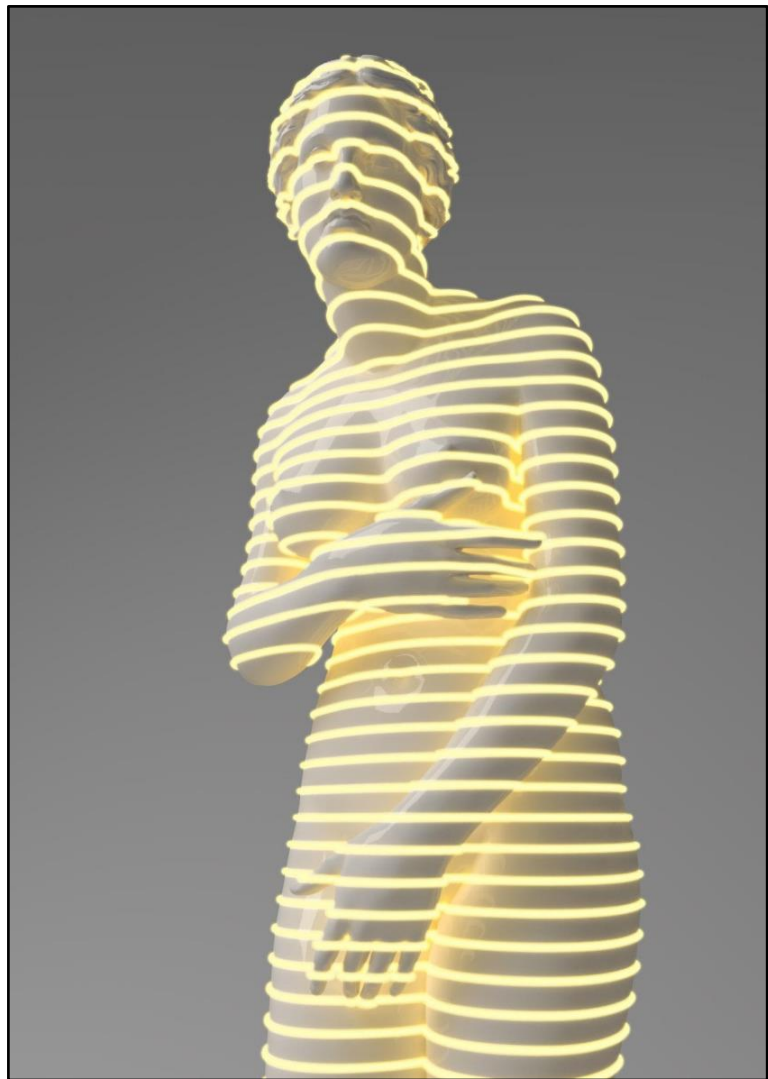
Dans une première partie de cet état de l'art, nous avons analysé la personnalisation dans le contexte muséal en passant en revue les projets existants dans les musées, les approches informatiques et IHM, ainsi que les approches muséologiques. Cette revue nous a permis de définir que la personnalisation dans les musées est actuellement thématifiée ou profilée selon des grandes catégorisations de visiteurs, ou repose essentiellement sur la médiation humaine sans capitalisation des visites résultantes. Du point de vue technologique, le recueil des données nécessaires à la personnalisation pose des questions de transparence, de pertinence et de confiance, notamment pour le recueil implicite de données. Le recueil explicite peut quant à lui se révéler ennuyeux et fastidieux pour les visiteurs. Des projets européens se sont intéressés à la conception d'outils pour aider les professionnels des musées à créer des expériences de visite personnalisées. Cependant, ils n'apportent pas de support dans la stratégie de gestion des nombreuses caractéristiques possibles des visiteurs. Enfin, d'un point de vue muséologique plusieurs profils visiteur ont été identifiés par les études des publics, mais ils ne sont pas assez flexibles pour prendre en compte la variabilité des visiteurs. En général, les groupes sont peu pris en compte du fait de leur complexité. Nous proposons donc d'explorer la personnalisation des parcours de visite prenant en compte les groupes de visiteurs et la complexité des profils résultants, d'un côté pour aider les professionnels des musées à les appréhender et mettre en place des stratégies de création, et de l'autre pour recueillir les données nécessaires à une personnalisation explicite attractive et ludique. Nous postulons que les interactions tangibles peuvent aider à supporter ces deux activités.

Nous avons donc, dans une seconde partie, repris les définitions et les bases théoriques des interfaces tangibles et listé les propriétés des TUI pertinentes pour résoudre les enjeux de la personnalisation des parcours de visite évoqués ci-dessus. Ainsi les précédents travaux dans les musées démontrent que les TUI sont plus attractives auprès des visiteurs, ce qui permettrait de contrebalancer le remplissage fastidieux des données de personnalisation explicite. Les TUI favorisent également la collaboration et sont une bonne solution pour les groupes de visiteurs. Cependant et à notre connaissance, les TUI n'ont pas été explorées pour la récolte des informations des groupes de visiteurs dans un musée en vue de personnaliser leur parcours. Enfin, les TUI peuvent permettre une bonne répartition de l'attention des visiteurs entre dispositif et environnement, ce qui en fait un bon candidat pour le suivi du parcours de visite personnalisé dans le musée. À notre connaissance les TUI n'ont jamais été utilisées comme outil pour aider les professionnels des musées. Cependant une analyse des travaux pour les usages professionnels des TUI dans d'autres domaines démontrent qu'elles peuvent permettre de résoudre des situations complexes voir critiques à travers notamment la réflexion tangible, la cognition incarnée et distribuée. Nous pensons donc qu'il existe des opportunités d'utilisation des interactions tangibles pour aider les professionnels des musées à appréhender la complexité des profils de visiteurs pour lesquels ils doivent créer des parcours de visite personnalisés.

# Chapitre 3

---

Création de parcours de visite personnalisés par  
les professionnels des musées



Léo Caillard – *Light Stone*, 2017  
<https://www.leocaillard.com/artworks.html>

## Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées.....	45
3.1. Analyse des besoins .....	46
3.1.1. Entretiens semi-directifs .....	47
3.1.2. Observations d'une activité prospective de création multicritère .....	50
3.1.3. Directives de conception et recommandations.....	56
3.2. Conception d'un outil d'aide à la scénarisation de parcours de visite personnalisés .....	57
3.2.1. Création de parcours de visite personnalisés.....	57
3.2.2. Espace de conception multidimensionnel .....	61
3.2.3. Choix des profils visiteur.....	72
3.3. Développement de MuseoTUI et MuseoGUI.....	80
3.3.1. MuseoTUI : instanciation tangible du choix des profils .....	80
3.3.2. MuseoGUI : instanciation tactile du choix des profils .....	86
3.4. Évaluation de MuseoTUI et MuseoGUI.....	87
3.4.1. Protocole expérimental .....	88
3.4.2. Résultats .....	91
3.5. Discussion.....	97
3.6. Conclusion .....	99

### Publications associées :

Stéphanie Rey, Christophe Bortolaso, Anke M. Brock, Célia Picard, Mustapha Derras, Nadine Couture. 2020. Interaction hommes-machine et personnalisation des visites : Enjeux et perspectives critiques. In *Culture & Musées*, 35 | 2020, 77-106.

Stéphanie Rey, Nadine Couture, Célia Picard, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Anke M. Brock. 2020. Designing Tangible Tools for the Creation of Personalized Visits by Museum Professionals. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '20)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 487–493. DOI: <https://doi.org/10.1145/3374920.3374977>

Stéphanie Rey. 2018. Outil de gestion pour la création de parcours de visites personnalisées dans le contexte des musées. In *30e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (Rencontre Doctorale)*, AFIHM, Brest, France. pp.22-26.

Stéphanie Rey, Anke Brock, Célia Picard, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture. 2018. Individualized Visits to Foster the Engagement and the re-visit in Museums. In *ESOF 2018, EuroScience Open Forum*, Toulouse, France.

### 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

---

La visite d'un musée est influencée par de nombreux critères liés aux identités multiples des visiteurs ou aux contextes variés de leur visite (Eidelman, Gottesdiener et Le Marec, 2013) qu'ils soient sociaux, personnels ou physiques (Falk et Dierking, 2011). Face à la « pluralité des figures de visiteurs » (Eidelman, Gottesdiener et Le Marec, 2013) et de leurs pratiques de visite, la personnalisation est une tendance envisagée par les musées. Toutefois, les tentatives existantes soulèvent des problèmes d'interprétation des envies des visiteurs par les algorithmes (Andreacola, 2014), d'efficacité de la personnalisation et d'incohérences dans les contenus générés (Fantoni, 2009), ou restent confinées aux laboratoires de recherche en informatique (Ardissono, Kuflik et Petrelli, 2012). Afin de favoriser la mise en œuvre de visites personnalisées dans les musées nous nous sommes intéressés au processus de création de ces visites par les professionnels des musées eux-mêmes. En effet, la création du fil rouge sous-jacent à un parcours, la scénarisation et la prise en compte des facteurs d'apprentissage, tels que la répétition ou la distillation des connaissances au fur et à mesure de la visite, sont autant de composantes essentielles apportées par les conservateurs, les médiateurs culturels et les muséographes. Ces professionnels s'opposent à un processus de création entièrement automatisé (Not et Petrelli, 2019). Cependant, ils sont prêts à utiliser de nouvelles technologies pour les aider dans le processus complexe de personnalisation des visites, à condition qu'elles soutiennent leurs objectifs et leurs approches (*ibid.*). Nous mettons ainsi en place une démarche de conception centrée utilisateur (Beaudouin-Lafon et Mackay, 2003) pour le personnel du musée en charge des publics. Nous présentons dans ce chapitre la conception d'outils permettant d'épauler les professionnels dans leur tâche de création de parcours de visites personnalisés. Nous explorons tout particulièrement l'apport potentiel des interactions tangibles dans cette tâche (voir le chapitre précédent). Ce chapitre décrit les différentes étapes de la conception centrée utilisateur : analyse de l'activité des médiateurs et responsables du service des publics, exploration de l'espace de conception au travers de plusieurs maquettes basse-fidélité, réalisation et évaluation auprès des utilisateurs finaux d'un prototype tangible haute-fidélité et de son équivalent tactile (Figure 14).

Dans ce chapitre, notre objectif est de répondre aux questions de recherche suivantes :

Q1. Quels sont les besoins et les envies des professionnels des musées pour créer des parcours de visite personnalisés ? Selon quels caractéristiques souhaitent-ils personnaliser ces visites ?

Q2. Quels sont les préconisations et les contraintes d'un outil d'aide à la création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées ? Quelles tâches doit-il supporter ?

Q3. Comment concevoir des outils permettant aux professionnels des musées d'exploiter la richesse de leur espace de conception de parcours personnalisés sans les exposer à une représentation trop complexe ?

Q4. Quel est l'apport des interactions tangibles pour épauler les professionnels dans la tâche de création de parcours de visite personnalisés ?

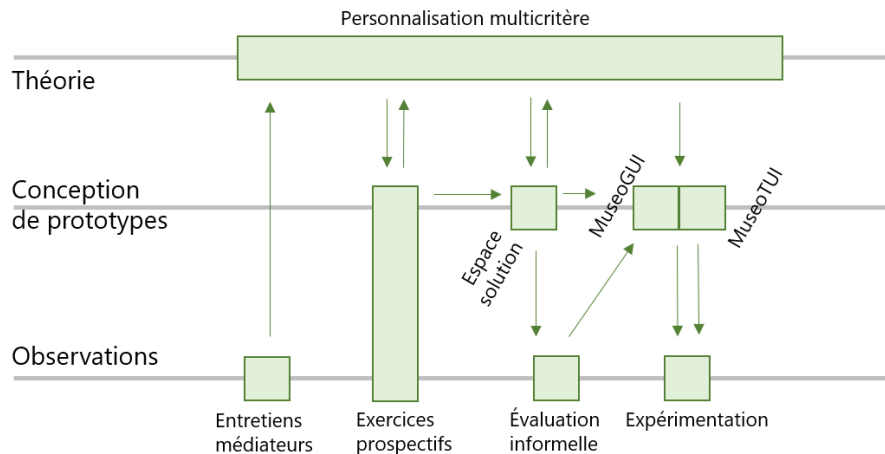


Figure 14 : Présentation des travaux du chapitre 3 selon le modèle de triangulation de Mackay et Fayard (1997).

### 3.1. Analyse des besoins

Nous avons utilisé une approche de conception centrée utilisateur afin de mieux prendre en compte les besoins, les compétences et les comportements des professionnels des musées. Nous avons tout d'abord conduit des entretiens généraux auprès de 10 professionnels de profils variés (directeurs de musées, conservateurs, médiateurs culturels, professionnels de la communication et responsables informatique) de six institutions culturelles (la Cité du Vin et Cap Sciences à Bordeaux, le Musée Saint-Raymond et le Musée des Augustins à Toulouse, la Cité de l'Océan à Biarritz et le Musée de Minéralogie Mines Paris Tech). La discussion était guidée par une grille de questions portant sur trois thèmes principaux : l'organisation du musée, les visiteurs et leurs comportements, la collection et les visites. L'objectif était de mieux comprendre le domaine muséal, d'identifier les défis et les besoins des musées et de cibler les acteurs avec lesquels poursuivre l'analyse. Nous avons ainsi constaté que, pour la plupart des institutions interrogées, donner à l'exposition permanente une perspective nouvelle et attractive est un enjeu fort, afin notamment d'inciter les visiteurs à revenir et contrer l'effet « stadium » des expositions temporaires décrit par Bradburn (2001), c'est-à-dire des vagues de visiteurs venant en foule uniquement lorsque quelque chose de nouveau est proposé. Nous avons également noté qu'une fois l'exposition permanente mise en place, le service de médiation est chargé d'organiser des activités et des visites pour tous les types de visiteurs (écoles, familles, groupes, etc.). Nous avons donc choisi de continuer notre enquête avec les médiateurs culturels qui ont l'habitude de créer des parcours adaptés aux visiteurs et au contexte de la visite.

Nous avons mené une analyse des besoins auprès des professionnels du service des publics de trois institutions culturelles : la Cité du Vin à Bordeaux, le musée d'archéologie Saint-Raymond à Toulouse et l'organisme sous-traitant pour la médiation du musée des Beaux-Arts des Augustins à Toulouse. Cette étude comportait deux volets : 1) des entrevues semi-dirigées axées sur la création de visites avec des spécialistes des publics ; et 2) l'observation d'un exercice prospectif in-situ de création de parcours de visite personnalisés. Les étapes de la méthode et leurs résultats sont décrits dans les sous-sections suivantes.

## Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

Table 1 : Liste des participants pour les entretiens semi-dirigés (E) et les observations (O).

	<i>Institution</i>	<i>Poste</i>	<i>Expertise</i>	<i>Études académiques</i>	<i>Age</i>	<i>E</i>	<i>O</i>
A1	Musée des Augustins	Médiatrice culturelle	10 ans	DEA histoire de l'art, école du Louvre	40	•	
V1	Cité du Vin	Responsable de la médiation culturelle	16 ans	DEA histoire de l'art antique. Licence professionnelle conception et mise en œuvre de projets culturels	44	•	•
V2		Responsable scientifique. Responsable de l'exposition permanente	9 ans	Ingénieur agronome	57		•
R1	Musée Saint-Raymond	Responsable du Service des publics	15 ans	DUT documentation	49	•	•
R2		Médiateur culturel	5 ans	Docteur en sciences de l'antiquité	32	•	

### 3.1.1. Entretiens semi-directifs

Les spécialistes du service de médiation culturelle ont l'habitude de créer des parcours adaptés aux visiteurs et au contexte de la visite. Nous avons donc approfondi notre analyse globale par des entretiens semi-dirigés avec deux médiateurs culturels et deux responsables du service des publics (Table 1). Le but de ces entretiens était de comprendre le processus actuel de création de visites guidées et les souhaits pour de futures visites « dans un cas idéal ». Dans la première partie de l'entrevue, nous avons demandé aux spécialistes de décrire leur dernière expérience de création d'une visite guidée, en détaillant les personnes impliquées, les outils utilisés et le processus de création suivi. Nous avons également abordé la conduite effective de la visite guidée dans le musée et l'adaptation dynamique de leur discours au public lors de celle-ci. Dans la deuxième partie de l'entretien, les spécialistes ont été invités à imaginer la visite idéale pour leurs visiteurs futurs et à en détailler les caractéristiques. Ces entretiens ont été enregistrés en audio et entièrement retranscrits pour analyse.

Pour les professionnels du service des publics, la conception de visites guidées consiste essentiellement en la création d'une histoire reliant les différents expôts à travers un fil directeur. « *C'est plus qu'un enchaînement d'œuvres un peu disparates, il me semble que c'est important qu'elles soient liées par une histoire, comme si c'étaient des personnages d'une histoire* » (R1), « *On va raconter une histoire [...] on va faire un choix forcément, de ce qu'on dit, ce qu'on ne dit pas, comment on le dit, et puis après on va trouver le meilleur moyen de le dire* » (V1), « *Ça peut être un fil rouge* » (R2). Le point de départ de la création de visite est le plus souvent le thème, en fonction des expôts disponibles et de leur importance : « *Donc ça part de la thématique si c'est du tout public, et ça part des publics et de la thématique si c'est par exemple une visite junior* » (V1), « *Je suis partie d'une thématique en sachant intuitivement que j'avais les pièces pour pouvoir le faire* » (R1), « *Ce qui est sûr c'est que tu peux difficilement te*



*passer d'une œuvre majeure quand tu produis un parcours » (A1). La collaboration est également importante dans ce processus créatif : « Je ne m'assoie pas à mon bureau en me disant : bon, allez, aujourd'hui je vais réfléchir à [...]. C'est toujours, en discutant autour d'un café avec la responsable de la com' ou avec le médiateur » (R1), « les messages clés à faire passer, ça en général, on les travaille en brainstorming. » (V1). Une fois cette visite guidée créée, le cœur de métier du médiateur culturel est de l'adapter en temps réel en fonction du public (groupe, provenance, signes de fatigue, etc.) et du contexte (prêt d'œuvres, travaux de rénovation, etc.). « En médiation on s'adapte tout le temps à la personne qu'on a en face » (V1), « c'est comme si on avait plusieurs cordes à notre arc, et on s'en sert en fonction de ce qui se passe » (A1), « C'est assez compliqué aussi parce qu'il faut savoir s'adapter, mais c'est le cœur du métier. Je ne fais jamais une médiation pareil » (R2).*

Certains spécialistes de la médiation ont remonté des problèmes pour la transcription des parcours, la capitalisation et la passation de connaissances lors de l'arrivée ou le départ de collègues : « Normalement quand tu fais une visite, tu la rédiges, tu écris le parcours et ensuite ça sert de support de formation pour les nouveaux qui intègrent l'équipe et en fait on n'arrive pas à s'en servir [...] On galère à rééquilibrer le discours, à rafraichir les fiches, c'est un gros boulot et personne ne le fait. [...] Et quelque part c'est une perte de richesse » (A1), « Étant donné qu'on va avoir un nouveau médiateur bientôt, il va falloir que je reproduise... c'est là où est la limite de ce travail-là, c'est qu'il va falloir que je reproduise le discours. » (R2).

Pour toutes les personnes interrogées, la visite idéale s'adapte aux désirs, besoins et envies des visiteurs. « Ce serait un parcours qui ne serait pas imposé, et qui partirait vraiment des désirs du visiteur, s'il arrive à les formaliser. Alors peut-être qu'il faut l'aider, à formaliser un peu ses désirs. » (R1), « Il faudrait qu'il y ait un outil qui puisse s'adapter au besoin des gens. » (A1), « A priori on peut dire que le parcours idéal, c'est celui que les gens se feraient, mais ils n'arrivent pas à le choisir parce qu'ils n'ont pas peut-être assez d'informations sur comment le choisir » (V1). Ainsi, pour cette responsable culturelle, il faudrait un système « qui leur donne les capacités de choisir, un peu à la carte, c'est-à-dire [...] j'arrive, effectivement, je n'ai qu'une heure [...] et je m'intéresse absolument à ça. » « Je pense que le côté un peu à la carte ce serait la manière idéale parce que ça répondrait à tous les publics, et pour moi ce serait vraiment dans une optique de médiation. [...] Dans l'idéal un parcours, qu'il soit accompagné ou non humainement, il devrait pouvoir s'adapter » (V1). Mais cela implique la création de nombreux parcours de visite : « C'est-à-dire qu'il faut que ce soit un truc complètement subjectif par les personnes qui créent l'application ou le truc de visite, mais qui pourrait être démultiplié, c'est-à-dire que tu en aurais 10 000 mais en fonction de thématiques » (R2).

Pour plusieurs professionnels, un système de recommandation d'œuvres sur la base du parcours déjà effectué et des œuvres appréciées se situe en deçà du rôle d'ouverture et de découverte que le musée doit tenir : « on va te contenir dans un truc que tu aimes, on ne va jamais te surprendre » (R1). Ils posent également des problèmes de cohérence « le risque c'est [...] peut-être qu'à la fin on a un truc qui est hyper personnalisé et évolutif mais qui au final peut-être n'a plus de sens » (V1), « Il ne faut pas que le visiteur se perde, il faut qu'il reste focus sur ce qu'il veut voir. (...) La gestion du temps est très compliquée, parce qu'en fait tu passes très souvent beaucoup plus de temps sur les premières œuvres et tu finis par bâcler le reste. Donc si tu proposes

### Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

*des trucs connexes sur un premier intérêt il y a de grande chance pour que tu ne finisses pas la visite* » (A1). Ils ont de plus exprimé leur méfiance envers de tels outils de surveillance et de recueil implicite des comportements des visiteurs, notamment pour des raisons de vie privée.

Table 2 : Caractéristiques d'adaptation des visites selon les professionnels du service des publics interrogés.

	A1	V1	R1	R2
Thème	Thème, période	Intérêt, passion	Thème, envie, domaine d'intérêt	Thème, fil rouge
Âge	Âge (enfant, adolescent, adulte)	Âge (enfant, adolescent, adulte)	Âge (jeune, adolescent, adulte)	Âge (selon le cycle scolaire, adulte)
Niveau d'expertise	Niveau de contenu	Professionnel ou non	Niveau d'expertise	
Temps disponible	Temps disponible	Temps disponible	Temps disponible	
Langue		Langue		
Situation de handicap		Handicap visuel cognitif, auditif. Fatigue	Fatigue	Situation de handicap visuel
Humeur		Humeur (bonne humeur, selon l'actualité...)		
Quantité de contenu		Quantité de contenu	Plus ou moins de contenu	
Motivation		Apprendre, jouer, déduire, questionner, découvrir, toucher, regarder...	S'amuser, collaborer, échanger	Plus ou moins d'interactions
Composition du groupe			Seul, avec un enfant, avec des amis, en groupe	Famille

Nous avons extrait de ces entretiens les principales caractéristiques d'adaptation lors des visites guidées, ainsi que celles imaginées par les médiateurs pour une future visite personnalisée suivie librement par les visiteurs, que nous avons regroupées par similarité (Table 2). Les caractéristiques principales citées par aux moins deux professionnels sont : la thématique, l'âge, le niveau d'expertise, le temps disponible, la situation de handicap, la quantité de contenu, la motivation (apprendre, jouer, collaborer, etc.) et la composition du groupe (famille, amis, seul, etc.). Le temps passé et la quantité de contenus peuvent être reliés au relevé du nombre d'arrêts et du temps de visite pour les quatre profils de visite *fourmi*, *papillon*, *sauterelle* et *poisson* (Levasseur et Veron, 1983). Ces profils prennent également en compte des caractéristiques topographiques tel que le suivi ou non de l'ordre de parcours établi et le déplacement dans l'espace (bonds, zigzag) qui ne sont pas pertinents pour des visiteurs ayant choisi de suivre un parcours de visite personnalisé. La motivation, l'expertise et la composition du groupe se retrouvent également dans les propriétés des cinq profils types de Falk (2009) : *explorateur*, *facilitateur*, *à la recherche d'expérience*, *professionnel*, et *re-chargeur*. Comme le notent Davies et Heath (2014) ces catégories ne sont pas exclusives et un visiteur peut avoir des motivations se retrouvant dans plusieurs d'entre elles. Les approches de conception se

basant sur des catégories rigides ne mènent donc pas à des interfaces pertinentes et suffisamment flexibles pour prendre en compte la variabilité des visiteurs (Hornecker et Ciolfi, 2019). Il est ainsi nécessaire d'aller au-delà de ces stéréotypes avec des profils utilisateur plus riches et plus individuels pour atteindre une véritable personnalisation (Walsh, Clough et Foster, 2016). Nous proposons ainsi de combiner entre elles les valeurs des caractéristiques évoquées ci-dessus afin d'affiner les profils des visiteurs au-delà de simples personas et de démultiplier ainsi les scénarios de visite possibles. Un groupe d'étudiants experts disposant d'une demi-journée et ayant envie d'apprendre en s'amusant ne visitera pas de la même manière qu'une famille avec un enfant de sept ans en une heure souhaitant expérimenter.

Cette première partie de l'analyse nous a permis de mieux comprendre le processus créatif et collaboratif actuel de scénarisation des parcours de visite. Celui-ci se concentre autour des œuvres du musée, de la thématique et/ou d'un profil visiteur simple (adulte, enfant, groupe, etc.) afin de créer une histoire ou un fil rouge. Elle a également fait émerger l'envie des médiateurs pour un nouveau mode de personnalisation « à la carte » allant au-delà de la visite guidée thématisée et/ou profilée et se basant sur la dimension multicritère des profils de visiteurs. Nous avons ainsi extrait un ensemble de caractéristiques à combiner pour constituer des profils visiteur affinés pouvant servir à la fois de guide pour la scénarisation des visites par les médiateurs et d'aide au choix pour les visiteurs.

### 3.1.2. Observations d'une activité prospective de création multicritère

Les musées partenaires ne conçoivent actuellement pas de visites personnalisées au sens multicritère évoqué ci-dessus. La combinaison des différentes caractéristiques se traduit par des milliers de profils, et donc un nombre élevé potentiel de parcours de visite à créer. Le but pour les professionnels n'est évidemment pas de créer autant de parcours de visite, mais comment adapteraient-ils leurs stratégies de création face à cette multiplicité de profils ? Afin d'évaluer l'impact de cette complexité sur leur processus de création, d'observer leurs stratégies et comportement et de faire émerger les points bloquants de cette tâche future, nous avons conçu un exercice prospectif de création de visite multicritère. Nous avons organisé deux séances d'observation des utilisateurs en situation de création de ces visites. La première a eu lieu au musée Saint-Raymond avec la directrice du service des publics (R1), et la seconde à la Cité du Vin avec la responsable de la médiation culturelle (V1) et la responsable scientifique (V2), qui ont l'habitude de travailler ensemble sur l'exposition permanente (voir participants Table 1). Nous avons validé et affiné avec les professionnelles des deux musées les caractéristiques des visiteurs collectées lors de l'étape précédente. Nous avons également défini les valeurs possibles pour chaque caractéristique selon le contexte spécifique de chaque institution (par exemple, les durées de visite ne sont pas les mêmes pour un petit et un grand musée). Les caractéristiques consolidées ainsi que les valeurs choisies pour chaque musée sont présentées en Table 3. Nous leur avons demandé de se placer dans des conditions écologiques (c'est-à-dire au plus près de leurs conditions de travail quotidiennes) afin de créer un maximum de visites personnalisées dans la collection permanente de leur institution dans un laps de temps défini selon leurs disponibilités. Après chaque observation, une discussion ouverte a été menée afin de recueillir des commentaires et retours qualitatifs. Ces exercices ont été filmés et transcrits sous forme de diagrammes de tâches et d'arbres d'exploration.

## Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

Table 3 : Caractéristiques de personnalisation consolidées avec les participantes à l'exercice de création de parcours multicritères et valeurs choisies pour chaque musée

Caractéristiques	Valeurs Musée Saint-Raymond (R1)	Valeurs Cité du Vin (V1, V2)
Nombre de personnes	1 / 2 / 3 à 6 personnes	1 / 2 / 3 à 10 / plus de 10 personnes
Âge	3-6 ans / 7-12 ans / 13-18 ans / moins de 30 ans / plus de 50 ans	3-6 ans / 7-12 ans / 13-18 ans / plus de 18 ans
Niveau d'expertise	Débutant / Avancé	Débutant / Intermédiaire / Avancé / Professionnel
Motivation	Apprendre / Expérimenter / S'amuser	Apprendre / Expérimenter / S'amuser / Les trois
Situation de handicap	Aucun / Cognitif / Visuel / Auditif	Aucun / Cognitif / Visuel / Auditif / Moteur / Fatigable
Durée	30 minutes / 1 heure / 1 heure 30	Moins d'1 heure / 1 heure / 2 heures / une demi-journée

Au Musée Saint-Raymond, les valeurs des caractéristiques adaptées au musée ont été choisies au cours de réunions préparatoires préalables à l'exercice. La responsable des publics a également éliminé les profils non pertinents (par exemple, les profils enfant de 3 à 6 ans seul) et choisi un sous-ensemble de profils à traiter pour l'exercice (apprendre, sans handicap, débutant, tous les âges, tous les nombres de personne). À partir de ces informations, nous avons préparé une grille de profils avec toutes les combinaisons possibles pour suivre la progression de l'exercice (Figure 19). L'espace de conception comprenait 1680 profils réalistes et 30 visites ont été créées en deux heures pour un thème choisi (la mythologie). La responsable des publics avait également réfléchi à l'avance son espace de création : elle avait amené des feuilles A3 et des post-its à accrocher sur les portes d'une armoire pour la création des parcours (voir Figure 15, gauche). Elle a noté l'importance pour elle d'être debout pour créer et de manipuler des objets physiques « *j'ai besoin de faire le geste, de bouger les choses* ». Elle a pris des photos des post-it positionnés au fur et à mesure et déclare qu'elle se souviendra de ce qu'elle a voulu faire et des liens entre les œuvres car elle a manipulé les post-it « *quand on voit tout devient plus clair car matérialisé* », « *c'est mieux qu'une liste, la matérialité, le truc qu'on peut prendre et déplacer c'est important* ».

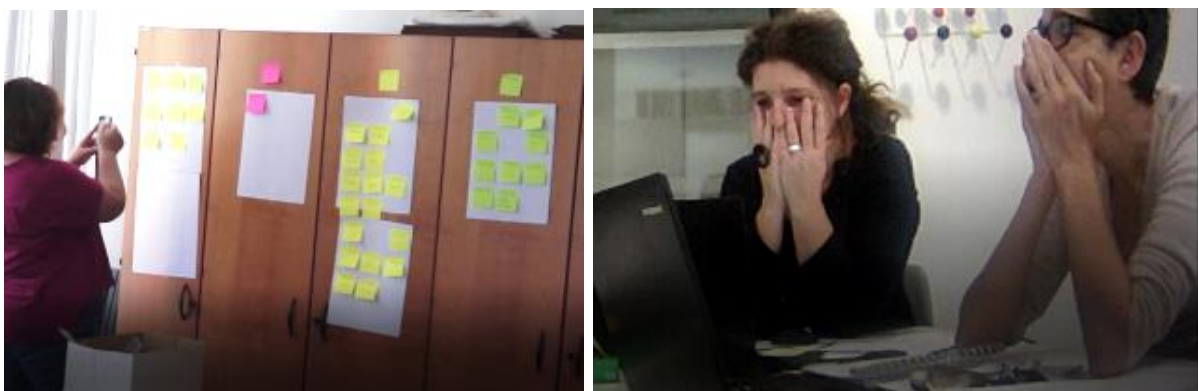


Figure 15 : Observation de l'exercice de création de parcours multicritères, à gauche au musée Saint-Raymond et à droite à la Cité du Vin (les participants ont donné leur accord pour l'usage des photographies).

### Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

Les professionnels de la Cité du Vin n'ayant pas eu le temps de participer à des réunions préparatoires, les caractéristiques ont été validées et les valeurs choisies juste avant l'exercice de création. Aucune grille représentant les combinaisons possibles n'a donc pu être préparée à l'avance. La présence ou non de ce support et le temps de réflexion différent préalable à l'expérience sont des biais à prendre en compte dans la validité de nos résultats. À la Cité du Vin, les deux expertes ont travaillé assises avec un ordinateur posé sur une table et projeté sur un grand écran vertical (voir Figure 15, droite). Leur espace de conception comprenait 11.136 profils possibles (le choix de nombreuses valeurs potentielles pour chaque caractéristique visiteur a démultiplié les profils) et elles ont créé 17 visites en 1 heure et 40 minutes pour un thème choisi (les « incontournables »).

Dans les deux cas, le processus de création a commencé par le choix d'une thématique et d'un ensemble d'œuvres correspondant à ce thème (Figure 16). Les participantes ont ensuite choisi un à un les profils visiteur pour lesquels elles ont créé un parcours de visite en sélectionnant un sous-ensemble d'œuvres ordonnées selon la logique de narration et leur emplacement dans le musée. Ce procédé était itératif, elles ont parfois copié ou dérivé une visite déjà créée pour un nouveau profil. Par exemple, une visite d'une heure peut être la même qu'une visite d'une heure et demie pour le même type de visiteurs en enlevant des œuvres, ou une visite pour les personnes en situation de handicap cognitif est dérivée depuis une visite pour les enfants.

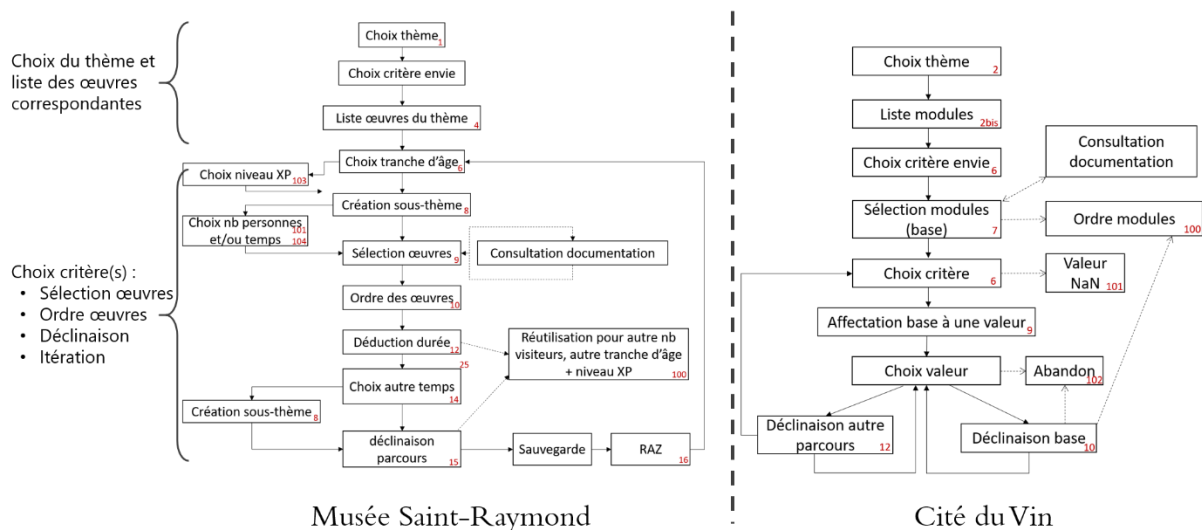


Figure 16 : Diagramme de tâches déduit de l'observation des deux exercices prospectifs.

Bien que cette approche générale soit commune aux expertes des deux musées, elles ont divergé dans leur façon d'explorer l'espace de conception composé de tous les profils visiteur. Au musée Saint-Raymond, R1 a fixé toutes les contraintes (par exemple : apprendre + sans handicap + débutant + 7-12 ans + une heure + deux personnes), constituant ainsi un profil complet, et a ensuite décidé d'une histoire à raconter pour celui-ci et itéré sur le nombre de personnes, puis le temps, puis l'âge. Si on représente ces choix sur un arbre, chaque niveau étant une caractéristique contenant des nœuds pour les valeurs possibles, R1 a effectué un parcours en profondeur de l'arbre (Figure 17). Tandis qu'à la Cité du Vin, les expertes ont parcouru l'arbre des possibles en largeur (Figure 18). En effet, V1 et V2 ont fixé une seule contrainte (le nombre de personnes) et créé un *parcours de base* pour chacune des valeurs

possibles (1 personne, 2 personnes, 3-10 personnes, plus de 10 personnes). Elles ont ensuite fixé une nouvelle contrainte (l'âge) et dérivé le *parcours de base* pour toutes les nouvelles valeurs (une personne de 3-6 ans, une personne de 7-12 ans, ... deux personnes de 3-6 ans, deux personnes de 7-12 ans...) en fonction des contraintes apportées par la nouvelle caractéristique (contraintes spatiales, coopération potentielle, contenu non-adapté). Elles ont itéré ainsi sur toutes les contraintes, en reprenant le parcours créé précédemment comme base. Une autre différence est apparue sur la manière de gérer les caractéristiques des groupes. R1 a décidé qu'un groupe prenait la caractéristique de son membre le plus contraignant. Ainsi une famille de quatre personnes avec deux enfants de 4 ans et 10 ans correspond au profil {3 à 6 personnes, 3-6 ans}, idem avec l'expertise, celle du moins expérimenté prévaut. À la Cité du Vin, les expertes ont décidé de faire une distinction entre les groupes d'enfants d'une même tranche d'âge et les enfants accompagnés d'un adulte.

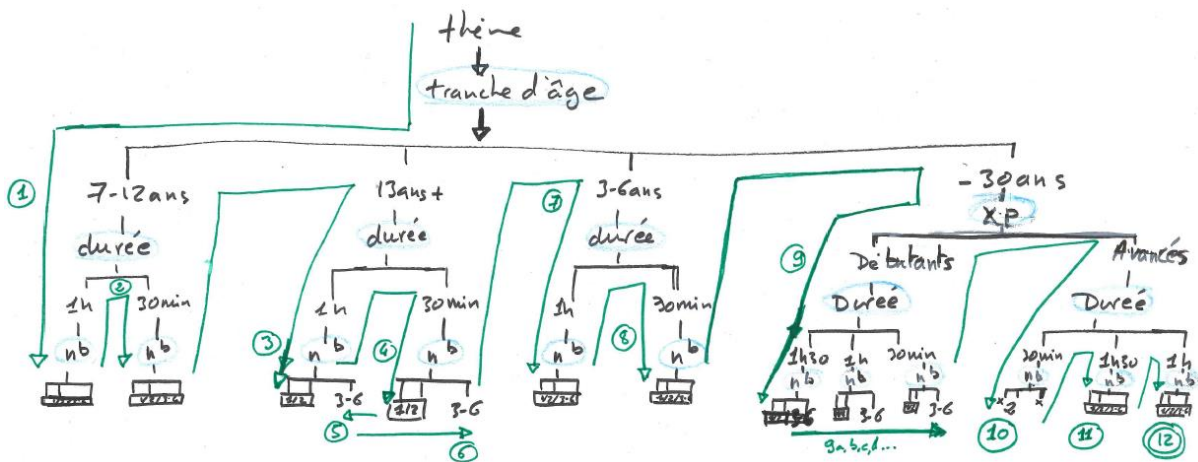


Figure 17 : Stratégie de constitution des profils au musée Saint-Raymond, parcours de l'arbre des possibles en profondeur de haut en bas puis de gauche à droite.

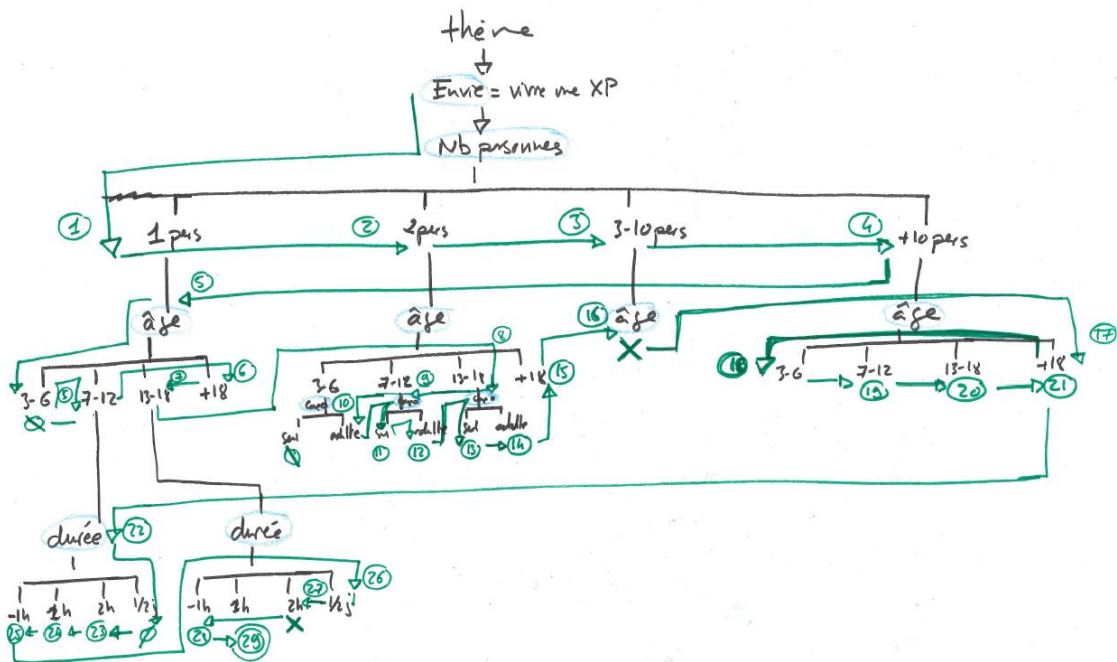


Figure 18 : Stratégie de constitution des profils à la Cité du Vin, parcours de l'arbre des possibles en largeur de gauche à droite puis de haut en bas.

### Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

			1 personne						2 personnes						3 - 6 personnes													
			13+ ans		-30 ans		+50 ans		3-6 ans		7-12 ans		13+ ans		-30 ans		+50 ans		3-6 ans		7-12 ans		13+ ans		-30 ans		+50 ans	
			débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé	débutant	avancé
Aucun Handicap	Fourmis	30min	P4	P9c					P7	P2	P4	P9c	P10			P7	P2	P6	P9f									
		1h	P3	P9b	P12					P8	P1	P3	P9b	P12			P8	P1	P5	P9e	P12							
		1h30	x	P9	P11					x	x	x	P9	P11			x	x	x	P9d	P11							
	Papillon	30min																										
		1h																										
		1h30	x							x	x	x				x	x	x										
	Sauterelle	30min																										
		1h																										
		1h30	x							x	x	x				x	x	x										
	Poisson	30min																										
		1h																										
		1h30	x							x	x	x				x	x	x										

Figure 19 : Parcours de visite créés au musée Saint-Raymond lors de l'exercice d'observation, reportés sur la grille d'analyse par l'observateur pendant l'exercice. Les profils de Levasseur et Veron (1983) ont été proposés mais R1 n'a pas pu les utiliser car trop liés à des modes de parcours libres. Les cellules grisées correspondent à des profils exclus par R1 avant l'exercice.

LES INCONTOURNABLES	Base	1 personne											2 personnes (couple/faire ensemble)						3 à 10 personnes	de 10 personnes													
		3-6 ans			7-12 ans				13-18 ans				> 18 ans	3-6 ans		7-12 ans		13-18 ans		> 18 ans													
		d'	1 h	2 h	1/2 j	moins d'1 h	1 h	2 h	1/2 j	moins d'1 h	1 h	2 h	1/2 journée		mm	avec un adulte	même tranche d'âge	avec un adulte	même tranche d'âge	avec un adulte					avec un adulte	avec un adulte	seuls ou avec 1 adulte						
<b>Caractéristique</b> <b>S = Envie</b>		-	d'1 h	1 h	2 h	1/2 j																											
<b>- apprendre</b> <b>- s'amuser</b>																																	
<b>- expérimenter / vivre une expérience</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>					<ul style="list-style-type: none"> <li>Galerie traversée</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Galerie (seulement TO)</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie (ciblage à définir)</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie (ciblage antik cocktail)</li> <li>Buffet des 5 sens (ciblage accords mets et vins)</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> <li>Bacchus et Venus</li> <li>Boire et déboire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Galerie (théâtres optiques)</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Bacchus et Venus ??</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Galerie (ciblage antik cocktail)</li> <li>Buffet des 5 sens (ciblage arôme mystérieux)</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens (ciblage arôme mystérieux)</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> <li>Boire et déboire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie (ciblage antik cocktail)</li> <li>Buffet des 5 sens (ciblage arôme mystérieux)</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens (ciblage arôme mystérieux)</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> <li>Boire et déboire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens (ciblage accords mets et vins)</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> <li>Bacchus et Venus</li> <li>Boire et déboire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tour du monde</li> <li>Galerie</li> <li>Buffet des 5 sens</li> <li>Tout un art de vivre</li> <li>A bord !</li> </ul>					
<b>- les trois</b>																																	
<b>- découvrir</b>																																	

Figure 20 : Tableau Excel créé par les utilisatrices lors de l'exercice d'observation présentant les parcours de visite créés à la Cité du Vin. Les profils de Levasseur et Veron n'ont pas été pris en compte, et seule la motivation « expérimenter » a été traitée. Les cellules grisées correspondent à des profils impossibles (ou au *parcours de base*, cf. page 52).

Ainsi, les stratégies adoptées pour faire face à la complexité combinatoire sont différentes. L'une se concentre sur un profil complet pour lequel elle crée un contenu le plus original possible (« *Si tu ne fais que décliner tu n'es plus dans la personnalisation. Ce qui est exaltant c'est de proposer des trucs particuliers* » R1), tandis que les autres se focalisent successivement sur une seule caractéristique pour laquelle elles déclinent par différenciation (« *ce qui est intéressant c'est la systématisation* » V2). La différence s'explique peut-être en partie par le type de musée. Le musée Saint-Raymond possède une collection de statues et d'artefacts anciens qui permettent aux médiateurs culturels de créer de nombreuses narrations différentes. L'exposition de la Cité du Vin est composée quant à elle de modules numériques avec un contenu narratif déjà intégré, la constitution d'une visite correspond donc au choix et à l'agencement de ces modules. Ces stratégies peuvent également être influencées par les biais mentionnés ci-dessus (temps de réflexion, présence d'une grille de profils), mais leur diversité est tout de même intéressante à considérer.

Étonnamment, les expertes ont utilisé divers supports au cours de l'expérience (livres, liste des modules, enquête sur les publics, etc.) mais elles n'ont jamais consulté de plan de leur musée. Interrogées à ce sujet au cours de la discussion post-observation, elles nous ont dit qu'elles connaissaient si bien leur musée qu'elles avaient la carte en tête. Elles n'ont donc pas besoin de plan du musée comme support pour prévoir les parcours des visiteurs et ne l'utiliseraient que pour communiquer avec le public ou des collègues d'autres services du musée (communication, marketing, direction).

Nous avons également observé que R1 se recentrait régulièrement sur les valeurs des caractéristiques visiteur déjà choisies et celles qui lui restaient à faire. Elle consultait régulièrement la grille des profils, non seulement pour voir ses progrès mais aussi comme rappel, aide à la décision, ou encore comme source d'inspiration. Par exemple, en voyant la valeur « expert » lors de la création d'une visite pour deux adultes débutants, elle a pensé à organiser un débat sur un marbre représentant le rapt de Proserpine par Hadès. À la Cité du Vin, V1 répétait régulièrement les caractéristiques du visiteur choisi lors de la création d'une visite « *si j'avais 7-12 ans et que je voulais expérimenter...* » pour mieux se projeter sur le profil choisi. La grille de profils n'étant pas disponible, elles ont ressenti le besoin de créer un support pour voir l'ensemble des possibilités et suivre leur progression. Elles ont utilisé un tableur Excel pour créer le tableau Figure 20. Elles ont choisi une « motivation » (vivre une expérience) dans une ligne et ont ajouté des colonnes pour tous les nombres de personnes possibles. Elles ont ensuite ajouté des sous-colonnes chaque fois qu'elles considéraient une nouvelle caractéristique. Par exemple, elles ont subdivisé chaque colonne existante pour « nombre de personnes » en autant de sous-colonnes que de valeurs possibles pour « âge » (3-6 ans, 7-12 ans, etc.). Mais la manipulation d'un tel tableau n'a pas été facile et elles ont exprimé le besoin d'un outil dédié. « *Nous avons besoin de matrices avec 12 000 entrées, nous avons besoin de quelque chose qui nous permette de voir en 3D* » a déclaré la responsable scientifique.

Dans les deux cas, les expertes se sont déclarées très intéressées par cette démarche permettant de se centrer et se projeter sur les profils et envies des visiteurs. R1 a déclaré que les contraintes stimulaient sa créativité « *je trouve que c'est bien parce que ça démultiplie la créativité, c'est une contrainte de plus qu'on s'inflige mais...* », tandis que V1 et V2 ont plutôt



loué le côté systématique de la démarche « *ce qui est intéressant c'est la systématisation* », « *c'est contraignant mais ce que je trouve intéressant c'est que ça oblige à se poser des questions que peut-être on ne se poserait pas en allant trop vite sur le contenu, ou trop en détail sur le contenu, ou en allant trop sur la forme* ». Les observations de cette activité prospective nous ont ainsi conduit à une première conclusion : le plus difficile dans la création de parcours personnalisés multicritères est d'explorer et de se projeter sur tous les profils visiteur possibles. Une limitation majeure identifiée est la difficulté de créer un aussi grand nombre de parcours, d'où la nécessité de mettre en place des stratégies de regroupement et de déclinaison voir même de création automatique pour les profils moins « importants » en s'inspirant de ce qui a été fait pour les autres profils. Les médiateurs ont identifié d'autres points durs comme par exemple la difficulté de rassembler et/ou créer le contenu correspondant à la visite et la nécessité de tester avec des visiteurs afin de vérifier que les parcours sont pertinents et bien adaptés.

### 3.1.3. Directives de conception et recommandations

L'analyse de l'activité des professionnels du service des publics nous a permis de mieux comprendre le processus de création d'un parcours de visite. Celui-ci correspond à la scénarisation d'une histoire, essentiellement fondée – pour l'instant – sur les œuvres phares du musée, une thématique et/ou une catégorisation large des visiteurs (enfants, groupe, touristes). Elle nous a également permis de faire émerger un nouveau type de personnalisation des visites, dites « à la carte » selon les mots des spécialistes, permettant d'affiner et démultiplier les profils en croisant plusieurs caractéristiques de visiteurs. Nous avons extrait des entretiens un premier ensemble de caractéristiques de visite (Table 2), que nous avons ensuite affiné lors des ateliers de création prospective (Table 4). Nous proposons également un ensemble de valeurs « génériques » pour ces caractéristiques. Ces valeurs sont issues du croisement de celles choisies par les deux musées participants, ceux-ci étant de taille et de domaine d'expertise différents. Cette liste de caractéristiques constitue une base de travail pour la conception, elle pourrait être augmentée ou modifiée en fonction de l'institution et des travaux de recherche menés. Ce qui nous intéresse ici est d'explorer leurs combinaisons, et les opportunités et limitations que cette nouvelle définition des profils visiteur entraîne pour les spécialistes des musées. Le thème de la visite est traité à part car il ne correspond pas à une caractéristique propre des visiteurs et dépend du musée visité.

Table 4 : Liste des caractéristiques visiteur pour la personnalisation des parcours de visite, et exemples de valeurs « génériques » pour chacune.

	<i>Caractéristiques</i>	<i>Exemples de valeurs</i>
<i>N</i>	Nombre de visiteurs	1 personne, 2 personnes, 3 à 6 personnes
<i>A</i>	Âge	3-6 ans, 7-12 ans, 12-18 ans, adultes
<i>T</i>	Temps disponible	30 minutes, 1 heure, 2 heures
<i>H</i>	Situation de handicap	Aucun, cognitif, moteur, visuel, auditif
<i>M</i>	Motivation	Explorer, apprendre, expérimenter
<i>E</i>	Expertise	Novice, expert
	Thème de la visite	Dépendant du musée

En effet le croisement des caractéristiques des visiteurs ainsi définies génère un grand nombre de profils, et donc un espace de conception de parcours de visite personnalisés vaste et

multidimensionnel (les dimensions étant les caractéristiques visiteur). L'objectif des professionnels des musées n'est évidemment pas de créer une visite pour chacun de ces profils, mais de les identifier, les hiérarchiser et les regrouper afin de capitaliser sur les visites déjà créées et sur celles restant à faire, tout en s'assurant de n'oublier aucun type de visiteur. Il est donc nécessaire de créer un outil permettant non seulement de concevoir les parcours de visite, mais également d'explorer l'espace de conception composé de tous les profils visiteur.

L'analyse de l'activité prospective de création de parcours de visite personnalisés multicritères dans deux institutions a fait émerger plusieurs préconisations pour la conception d'un tel outil :

- **EXPLORATION** : le système doit permettre d'explorer l'espace de conception constitué de tous les profils visiteur, afin de voir ce qui a été fait et ce qui reste à faire.
- **EMPATHIE** : le système doit permettre aux professionnels des musées de se projeter sur le profil des visiteurs afin d'imaginer des parcours de visite adaptés.
- **STRATÉGIE** : le système doit supporter plusieurs stratégies de création. Les experts peuvent ainsi choisir de créer des visites originales pour des profils très spécifiques ou des visites de base pour des profils génériques qu'ils affinent ensuite de manière itérative.

Les observations nous ont également permis de dégager quelques recommandations, même si le faible échantillon de personnels interrogés ne nous permet pas de généraliser nos résultats. Ainsi le travail de création de parcours de visite peut se faire à plusieurs et certains professionnels ont besoin de manipuler physiquement les objets d'intérêt. La collaboration et la manipulation directe – voire tangible – sont donc des éléments à prendre en compte lors de la conception d'un outil d'aide à la création de parcours de visite personnalisés. À l'inverse et contrairement à nos préjugés, l'utilisation d'un plan du musée n'est pas nécessaire pour les professionnels du service des publics.

### 3.2. Conception d'un outil d'aide à la scénarisation de parcours de visite personnalisés

L'analyse de l'activité des professionnels du service des publics nous a permis d'identifier plusieurs tâches à réaliser pour concevoir des parcours de visite personnalisés multicritères. Ainsi les experts ont besoin de visualiser leur espace de conception : voir les profils pour lesquels des visites ont déjà été créées ou restent à faire, suivre leur progression, s'inspirer des profils possibles (EXPLORATION). Ils doivent également sélectionner un ou plusieurs profils pour lesquels ils souhaitent travailler et se projeter sur le choix courant (EMPATHIE). Enfin, ils doivent créer un parcours pour ceux-ci, soit en créant un nouveau parcours, soit en copiant ou adaptant un parcours existant (STRATÉGIE). Les sections suivantes présentent la conception itérative d'outils permettant de créer les parcours, de visualiser et manipuler l'espace de conception multidimensionnel et enfin de choisir le ou les profils visiteur pour lesquels créer les parcours.

#### 3.2.1. Création de parcours de visite personnalisés

La création de parcours de visite personnalisés implique une à plusieurs personnes dans un processus créatif de mise en récit prenant comme personnages des œuvres du musée et

comme auditoire un public précis. Afin de créer ces histoires, les médiateurs s'appuient sur leurs connaissances des œuvres (potentiel narratif, importance, disponibilité, positionnement dans le musée), du contenu de médiation disponible (message clé, objectif d'apprentissage, type de média) et de leurs visiteurs (motivation, centre d'intérêt, âge, nombre etc.). Ils doivent également équilibrer trois critères interdépendants correspondant à ces trois facteurs : le temps dont disposent les visiteurs, le niveau de détails du contenu et le nombre d'œuvres à montrer, à relier également avec le niveau de fatigue dépendant de la topographie du musée.

Deux séances de brainstorming (une à l'INRIA avec des chercheurs et doctorants en IHM, et une à Berger-Levrault avec des chercheurs et doctorants de spécialités variées) nous ont permis de faire émerger quatre scénarios pour la création de parcours de visite personnalisés. Afin de tirer profit des bénéfices du tangible pour le travail collaboratif et la manipulation direct, nous avons utilisé les cartes<sup>11</sup> de Hornecker (2010), qui reprennent les « questions provocatrices » de son framework sur les interactions tangibles (Hornecker et Buur, 2006) accompagnées d'images, afin de favoriser la génération d'idées lors d'un des brainstormings. Les quatre scénarios résultants permettent d'incarner les différents objets d'intérêt à manipuler : les visiteurs, les œuvres, le musée en lui-même et le lien entre les œuvres (Figure 21). Le premier scénario permet de poser des caractéristiques visiteur sous forme tangible sur une table interactive et de générer automatiquement des parcours de visite pour celles-ci, puis d'éditer les parcours proposés sur la surface tactile. Le deuxième explore l'incarnation des œuvres sous la forme de tuiles hexagonales à assembler (inspiré de Gorbet, Orth et Ishii, 1998), une figurine visiteur microphone permet ensuite de choisir les caractéristiques et de « raconter » au micro l'histoire tout en déplaçant la figurine sur les tuiles. La troisième solution permet de tracer à plusieurs les parcours avec des stylos Anoto<sup>12</sup> sur une maquette 3D du musée concrétisant l'effort physique de déambulation. Et enfin la dernière explore l'incarnation des liens entre les œuvres – le « fil rouge » – en permettant de tirer des fils entre des objets représentant les œuvres du musée (inspiré de Ducasse *et al.*, 2016) et permettant d'enregistrer oralement du contenu pour chaque œuvre.

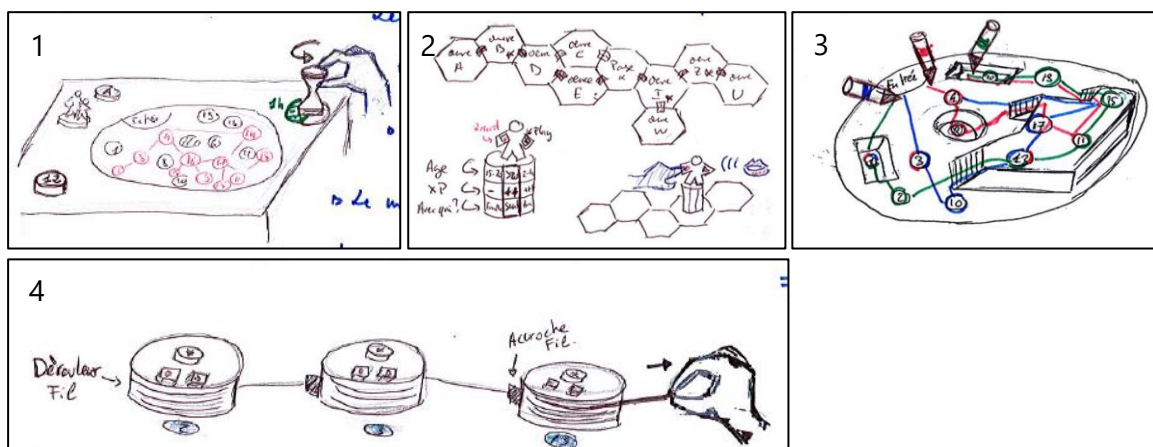


Figure 21 : Quatre scénarios de création des parcours de visite personnalisés incarnant 1) les contraintes des visiteurs, 2) les œuvres, 3) la topographie du musée, 4) les liens entre les œuvres.

<sup>11</sup> Cartes disponible sur le site <http://www.ehornecker.de/CardGame.html> consulté le 27/03/2020

<sup>12</sup> Stylo numérique <https://www.anoto.com/solutions/livescribe/> consulté le 03/03/2020

Le scénario 1 se concentre uniquement sur les caractéristiques visiteur et ne permet pas de créer le parcours en lui-même (génération automatique) et le scénario 3 ne prend en compte que la topographie du musée. Nous avons donc utilisé les scénarios 2 et 4 pour réaliser deux prototypes basse-fidélité. Le premier prototype, inspiré du scénario 2, repose sur l'assemblage d'œuvres sous forme de blocs hexagonaux (Figure 22 gauche). Chaque œuvre est un bloc dont la forme hexagonale permet de former des routes annexes par assemblage. Ce dispositif est complété par un totem visiteur et l'affichage du plan du musée sur un écran déporté. Des roues sur le totem visiteur permettent de choisir les différentes caractéristiques (nombre de visiteur, âge, expertise, etc.) et deux boutons permettent de contrôler un microphone. Lorsque le médiateur a assemblé les différentes œuvres du parcours, il peut les parcourir avec le totem visiteur et enregistrer les contenus pour chaque tuile. Le parcours correspondant s'afficherait sur l'écran déporté qui indique également le temps de visite et le nombre de mètres parcourus.



Figure 22 : Deux prototypes basse-fidélité pour la création des parcours de visite, basés sur la Cité du Vin.

Le deuxième prototype permet de choisir les œuvres à l'aide de *tokens* génériques à placer sur le plan du musée pour choisir les œuvres qu'ils représentent (Figure 22 droite). Une fois plusieurs œuvres affectées à plusieurs *tokens*, ceux-ci peuvent être manipulés (mis à la suite les uns des autres, empilés, mis en parallèle...) pour constituer des parcours de visite. Ce prototype est inspiré du scénario 4, mais la notion de lien est ici représentée par l'adjacence des *tokens*. Le parcours s'afficherait alors par projection sur le plan du musée. Un outil de configuration sur le côté permet de spécifier à quelles caractéristiques visiteur le parcours s'adresse. Ces solutions privilégient la position centrale de la carte et l'assemblage tangible des œuvres pour créer les parcours de visite et leurs variantes. Ils permettent ainsi des stratégies de conception différentes (STRATÉGIE) et permettent d'envisager des parcours alternatifs. La première solution permet d'incarner le profil du visiteur et de lui raconter la visite comme lors d'une visite guidée, et favorise donc l'EMPATHIE. Cependant, aucune des solutions envisagées ne permet de traiter le besoin d'EXPLORATION des combinaisons de caractéristiques visiteur, ni ne facilite la création de parcours pour un grand nombre de profils visiteur. En outre, le grand nombre d'œuvres rend compliqué leur incarnation dans des objets physiques, et l'utilisation du plan du musée n'est pas nécessaire pour les médiateurs culturels.

### Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

Nous avons donc conçu une nouvelle version de prototype d'interface permettant de répondre à ces limitations. Le dispositif – une grande surface tactile présentée à l'horizontale ou à la verticale pour permettre une manipulation directe des éléments et un travail collaboratif sans avoir à incarner la multiplicité des œuvres – permet de choisir des combinaisons de caractéristiques visiteur pour lesquelles travailler puis de créer des parcours de visite en assemblant des œuvres selon le profil visiteur ainsi constitué en s'appuyant sur les parcours déjà créés (Figure 23). Il est constitué de cinq zones : en haut le choix de la thématique (en jaune), à gauche le choix des caractéristiques du profil visiteur (en orange), au centre la zone de création de parcours, à droite l'historique des parcours déjà créés (en rouge) et en bas la base des œuvres du musée (en bleu). Le médiateur est aidé dans cette tâche par l'enrichissement progressif de la base de connaissances du dispositif : les œuvres sont taguées en fonction des thématiques, des caractéristiques visiteur pour lesquelles elles sont utilisées et en fonction des contraintes techniques (par exemple la hauteur d'accrochage impacte la visibilité pour les enfants et les personnes à mobilité réduite, la taille de l'œuvre impacte la visibilité par les groupes, etc.).

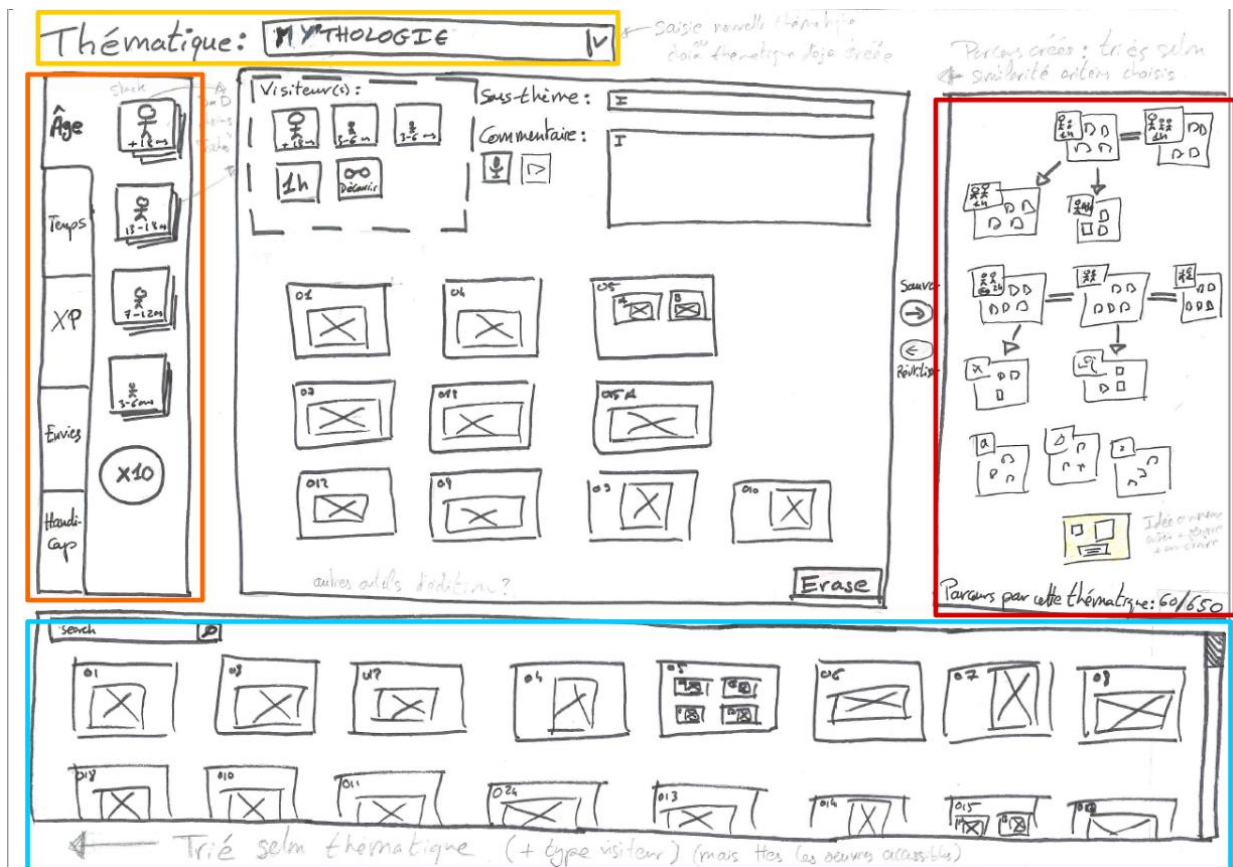


Figure 23 : Maquette de l'interface pour la création de parcours de visite personnalisés.

Le scénario d'usage de l'interface est le suivant : l'utilisateur saisit ou choisit la thématique sur laquelle il veut travailler dans le champ en haut de l'écran (en jaune), la base des œuvres et l'historique des parcours sont alors triés pour placer en premier les œuvres et parcours créés pour cette thématique. L'utilisateur choisit alors les caractéristiques des visiteurs en glissant les cartes caractéristiques depuis les onglets situés à gauche (en orange) vers la zone en pointillés dans l'espace de création au centre. L'historique sur la droite de l'écran (en rouge) est

réorganisé pour présenter en premier les parcours créés pour des profils similaires afin que les médiateurs puissent s'en inspirer, les réutiliser ou les décliner. Le tri de la liste des œuvres est également mis à jour pour prendre en compte les caractéristiques choisies. L'utilisateur peut alors soit créer un nouveau parcours en glissant des œuvres depuis la liste des œuvres (en bleu) vers la zone de travail, soit récupérer un parcours dans l'historique (en rouge) et le modifier dans la zone centrale. Il peut enregistrer du contenu sonore grâce à un bouton « micro » au niveau de la zone de commentaires. Lorsque l'utilisateur sauvegarde le parcours créé (constitué du profil visiteur, des œuvres ordonnées et des commentaires audio et texte), celui-ci se place dans l'historique à droite. Il peut ensuite soit réutiliser ce parcours pour d'autres combinaisons de caractéristiques en les ajoutant à la zone en pointillés, soit effacer son espace de travail en appuyant sur le bouton « effacer » et redémarrer un nouveau parcours pour un nouveau profil.

Ce prototype permet de répondre aux besoins de sélection d'un ou plusieurs profils (préconisation d'EMPATHIE section 3.1.3) et de création des parcours pour ceux-ci (STRATÉGIE). Il reste cependant limité en ce qui concerne l'ajout de contenu de médiation (texte, image, vidéo d'explication), la dynamique des parcours ainsi créés (prévision de l'adaptation au contexte et aux envies des visiteurs en temps réel) et la vision globale sur l'espace de conception (EXPLORATION : voir les profils déjà traités ou restants à faire, suivre la progression de la création). Des outils d'édition de parcours de visite, permettant notamment l'ajout de contenu et l'adaptation au contexte, ont été explorés dans la littérature (Vayanou *et al.*, 2014 ; Roussou *et al.*, 2015 ; Zancanaro *et al.*, 2015). Mais aucun de ces outils ne permet de visualiser et se projeter sur un grand nombre de profils visiteur pour lesquels créer les parcours. Dans la suite de ce chapitre, nous allons donc explorer plus avant la visualisation et la manipulation de l'espace constitué des combinaisons de caractéristiques visiteur. L'enjeu est de permettre aux spécialistes de profiter du pouvoir expressif de cet espace de conception multidimensionnel sans les exposer à des visualisations trop complexes.

### 3.2.2. Espace de conception multidimensionnel

Notre observation a montré que pour créer des visites personnalisées multicritères, les médiateurs culturels ont d'abord besoin d'avoir une vision claire de leur espace de conception – c'est-à-dire de tous les profils visiteur possibles – afin de sélectionner les profils pertinents et créer ou dériver des parcours pour ceux-ci. Cet ensemble est un espace multidimensionnel issu du croisement de toutes les valeurs possibles pour les caractéristiques des visiteurs. Les différentes dimensions sont les caractéristiques telles que définies par l'analyse de l'activité (section 3.1.3). En termes mathématiques, l'ensemble des profils constituant l'espace de conception correspond au produit cartésien des six ensembles Nombre, Age, Temps, Handicap, Motivation, Expertise :

$$N \times A \times T \times H \times M \times E = \{(n, a, t, h, m, e) \mid n \in N, a \in A, t \in T, h \in H, m \in M, e \in E\}$$

Un profil visiteur est donc un sextuplet, tel que par exemple (2 personnes, adultes, 1 heure, handicap visuel, expérimenter, débutant). Ici nous suivons la piste choisie par R1 pendant l'exercice de création (section 3.1.2) : les valeurs pour l'âge et l'expertise correspondent à celles de la personne la plus contraignante du groupe (l'enfant le plus jeune, la personne la plus

inexpérimentée) afin de simplifier un espace déjà complexe. Pour chaque profil ainsi défini :1) le profil est impossible (comme un jeune enfant seul par exemple) et aucun parcours n'a besoin d'être créé, 2) le parcours est déjà fait ou 3) il reste à faire. La complétion de la création du parcours peut donc être fixée à « non pertinent », « à faire » ou « déjà fait » pour chaque sextuplet.

Nous explorons donc les solutions permettant d'aider les professionnels du musée à visualiser un tel espace multidimensionnel et à sélectionner les profils pertinents pour le remplir « judicieusement », c'est-à-dire créer des parcours pour les visiteurs venant au musée, capitaliser au mieux sur les parcours créés et s'assurer de n'oublier personne sans pour autant remplir tous les profils. Nous avons ainsi listé les tâches utilisateur suivantes :

- Ta1 : Voir l'ensemble des possibles
- Ta2 : Voir l'avancement général
- Ta3 : Voir ce qu'il reste à faire
- Ta4 : Voir ce qui est déjà fait pour s'en inspirer ou le copier
- Ta5 : Identifier les profils similaires pour les traiter ensemble
- Ta6 : Voir le ou les profils courant(s) pour s'en souvenir et mieux se projeter
- Ta7 : Trier les profils pour rapprocher les profils similaires
- Ta8 : Grouper les profils à traiter ensemble
- Ta9 : Sélectionner le ou les profil(s) à traiter

Ces tâches peuvent être regroupées entre visualisation du contenu (Ta1 à Ta6) et manipulation des éléments (Ta7 à Ta8).

### *Visualisation du contenu*

Les professionnels du musée ont besoin d'avoir une vision d'ensemble afin de faire des choix pertinents sur les profils à adresser (tâche Ta1). Ils ont donc besoin de visualiser de manière simultanée tous les sextuplets (c'est-à-dire les profils possibles) ainsi que leur niveau de complétion (tâches Ta2, Ta3, Ta4). Nous présentons ci-après une exploration des solutions possibles issues de l'état de l'art avant de présenter la seule visualisation – à notre connaissance – qui nous permette de répondre à ces enjeux.

En visualisation d'information, la valeur des données peut être encodée par différentes propriétés visuelles. La sémiologie graphique de Bertin liste les différentes variables visuelles qui peuvent être utilisées : la taille, la position, la luminosité, la texture, la couleur, l'orientation et la forme (Bertin, 1973). Cependant pour la visualisation de données multidimensionnelles l'utilisation de ces propriétés est limitée par leurs interférences potentielles. Les dimensions à visualiser sont en général réduites à un plus petit nombre (1D, 2D, voir 3D avec les travaux de Cordeil *et al.*, 2017) en utilisant une séparation spatiale ou temporelle.

Plusieurs exemples de séparation spatiale existent. Le système de « coordonnées parallèles » (*Parallel Coordinates*, Inselberg, 1985) représente chaque dimension sur un axe parallèle, équidistant et perpendiculaire à l'axe X (Figure 24, gauche). Une donnée possède une coordonnée sur chacun de ces axes, correspondant à sa valeur pour la dimension correspondante. Une donnée est ainsi représentée par la polygone reliant ses coordonnées sur

les différents axes. Les matrices de « nuages de points » (*Scatterplot matrix*, Elmquist, Dragicevic and Fekete, 2008) présentent toutes les projections possibles sur un espace cartésien en 2D sous forme de vignettes dans une matrice de diagrammes. Dans *VisDB* (Keim et Kriegel, 1994), chaque pixel de l'écran représente un élément de données, la pertinence de l'élément vis-à-vis d'une requête est codée grâce à la couleur du pixel. Pour différentes dimensions, les valeurs correspondantes sont représentées par des pixels adjacents. Cependant, ces visualisations avec séparation spatiale sont souvent compliquées par la répétition des données dans chaque partie de la représentation et ne permettent de corrélérer que deux dimensions à la fois.

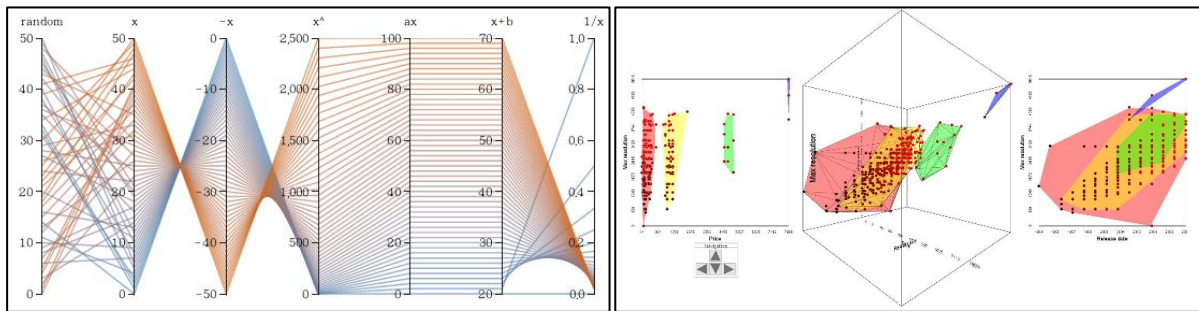


Figure 24 : Gauche) Parallel Coordinates (source : Wikipedia Common), Droite) ScatterDice (image extraite de Elmquist, Dragicevic et Fekete, 2008)

L'autre solution consiste à utiliser une séparation temporelle en visualisant la succession de toutes les projections 2D possibles, processus appelé le « Grand Tour » (Asimov, 1985 ; Fisherkeller, Friedman et Tukey, 1988). *ScatterDice* (Elmquist, Dragicevic et Fekete, 2008) permet ainsi d'explorer des données multidimensionnelles en parcourant l'ensemble des « nuages de points » possibles (Figure 24, droite). Un « nuage de point » ne permettant de visualiser que deux dimensions à la fois, tous les diagrammes pour chaque paire de dimensions possible sont présentés sous forme de vignettes dans une matrice de diagrammes. Cette matrice de synthèse permet de sélectionner le diagramme à afficher et de naviguer entre les différentes visualisations. La navigation dans la matrice est complétée par une animation de la visualisation en cours : la rotation d'un cube où les diagrammes actuels et suivants sont des faces et les dimensions sont des arêtes. La visualisation avec séparation temporelle nécessite du temps pour explorer toutes les représentations possibles et la vue d'ensemble complète de l'espace n'est formée que dans l'œil et le cerveau de l'utilisateur, ce qui est cognitivement exigeant, surtout lorsque l'exploration de l'espace n'est pas la tâche principale (dans notre cas la création des parcours pour les profils est la tâche principale).

Un petit nombre de travaux présentent toutes les dimensions sans séparation spatiale ni temporelle (« *grouping arrangement* » dans *VisDB*, Keim and Kriegel, 1994 ; ou interpolation en niveau de gris de *Dimensional Stacking*, Leblanc, Ward and Wittels, 1990) mais la représentation résultante est très compliquée pour des utilisateurs novices en visualisation de l'information.

Nous avons également exploré de nombreuses représentations utilisées classiquement dans le domaine de la visualisation d'information pour représenter les différentes caractéristiques, les profils et leur complétude (quelques exemples sont présentés en Figure 25). Ces représentations sont habituellement utilisées pour l'analyse de données déjà existantes, aucune d'entre elles ne permet donc de distinguer facilement les combinaisons de



caractéristiques visiteur restant à traiter et les profils visiteur sont durs à comprendre car éparpillés dans la représentation. Nous avons également tenté de représenter le produit cartésien sous forme d'arbre, similaire à celui utilisé pour analyser l'observation de la création de parcours (section 3.1.2, Figure 17), mais le rapprochement de profils similaires (tâche Ta5) est complexe sous cette forme car il entraîne la restructuration de toute la hiérarchie de l'arbre.

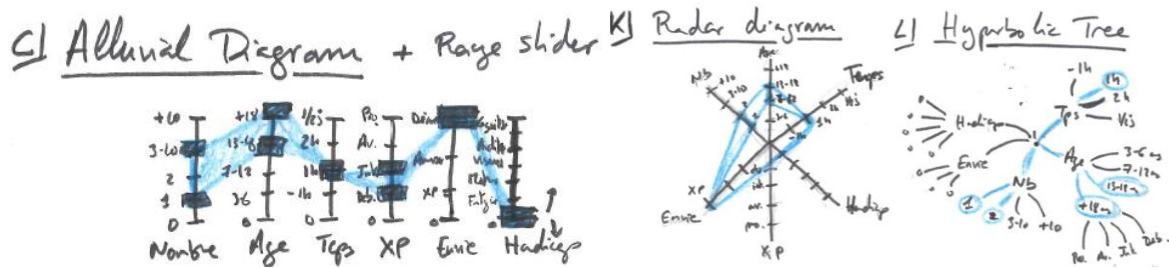


Figure 25 : Utilisation de représentations classiques pour afficher les caractéristiques visiteur :C) Diagramme alluvial ou coordonnées parallèles, K) Diagramme radar, L) Arbre hyperbolique.

Nous avons donc décidé d'utiliser une extension de la représentation des produits cartésiens à deux dimensions : une table créée en prenant le produit cartésien d'un ensemble de lignes et d'un ensemble de colonnes. Chaque cellule correspond ainsi à un couple formé des valeurs de la ligne et de la colonne (Figure 26).

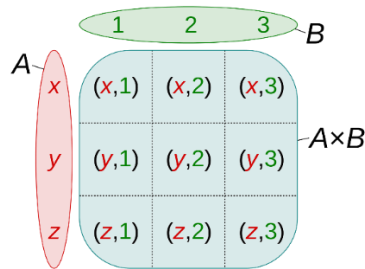


Figure 26: Représentation du produit cartésien  $A \times B$  des ensembles  $A = \{x, y, z\}$  et  $B = \{1, 2, 3\}$ . Source Wikimedia Commons, Quartl, CC BY-SA 3.0.

Afin de représenter l'ensemble de l'espace produit en passant de 2 à 6 dimensions, nous divisons ensuite chaque colonne et chaque ligne de cette table pour représenter les quatre dimensions supplémentaires, comme l'ont fait les professionnelles de la Cité du Vin avec les colonnes de leur tableau pendant l'exercice de création. Cette représentation se rapproche en effet de celle créée spontanément par les expertes de la Cité du Vin lors de l'exercice de création de parcours (Figure 20), et correspond à celle que nous avons utilisé pour suivre l'observation au Musée Saint-Raymond (Figure 19). Les valeurs des caractéristiques sont ainsi répétées en en-tête de ligne et de colonne (Figure 27). Chaque cellule du tableau correspond ainsi à un sextuplet  $(n, a, t, h, m, e)$ , c'est-à-dire à un profil visiteur. Pour chacune, un texte peut représenter l'identifiant du parcours créé pour le profil (ou rester vide si aucun parcours n'a été créé) et la couleur de la case peut encoder le niveau de complétude du parcours : gris pour « non pertinent », blanc pour « à faire » et différentes nuances de vert selon le niveau de raffinement pour « fait » (en effet, à la Cité du Vin, la déclinaison de *parcours de base* entraîne des itérations sur les parcours). Dans cette représentation, l'ensemble des cases permet de visualiser l'ensemble des profils (tâche Ta1), le rapport entre cases colorées et cases blanches montre l'avancement (tâche Ta2), les cases blanches montrent le reste à faire (tâche Ta3) et les

cases colorées avec l'indication de l'identifiant du parcours ce qui a été fait pour s'en inspirer (tâche Ta4).

		L1									L2												
		3-6 ans			7-12 ans			13-18 ans			Adulte												
		débutant			avancé			débutant			avancé			débutant			avancé						
C1	C2	C3	L3	1p	2p	3-6p	1p	2p	3-6p	1p	2p	3-6p	1p	2p	3-6p	1p	2p	3-6p	1p	2p	3-6p		
Apprendre	Aucun	30min																					
		1h		P7	P7																		
		1h30		P8	P8																		
	cognitif	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	auditif	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	visuel	30min																					
		1h																					
		1h30																					
S'amuser	Aucun	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	cognitif	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	auditif	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	visuel	30min																					
		1h																					
		1h30																					
Expérimenter	Aucun	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	cognitif	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	auditif	30min																					
		1h																					
		1h30																					
	visuel	30min																					
		1h																					
		1h30																					

Figure 27 : visualisation de l'espace de conception multidimensionnel. L1, L2, L3 correspondent aux en-têtes de ligne (avec ici comme valeurs L1 = Age, L2 = Expertise et L3 = Nombre) et C1, C2, C3 aux en-têtes de colonne (avec respectivement C1 = Motivation, C2 = Situation de handicap et C3 = Durée).

La position en (x, y) des cellules montre la proximité des profils selon certaines caractéristiques. En effet, sur la Figure 27 tous les profils d'enfants de 3 à 6 ans ayant envie d'apprendre se retrouvent proches les uns des autres. Au contraire, les profils de « personnes seules » sont répartis à plusieurs endroits de la grille car la valeur « 1 personne » est répétée dans l'en-tête L3. Sur cette représentation fixe, il est donc simple de sélectionner tous les « enfants ayant envie d'apprendre » mais compliqué de sélectionner tous les « visiteurs seuls ». Or, nous avons constaté pendant les observations de l'exercice prospectif que les spécialistes choisissent des profils variés et que leur stratégie peut varier, l'ordre des caractéristiques dans les en-têtes ne peut donc pas être fixé à l'avance. Il est donc nécessaire de leur fournir un moyen de modifier l'ordre des en-têtes afin de rapprocher les profils similaires selon les caractéristiques souhaitées (tâche Ta5) et de rendre plus simple la visualisation des profils couramment sélectionnés (tâche Ta6). Il y a 6! dispositions possibles des caractéristiques dans les en-têtes (L1, L2, L3, C1, C2, C3), ce qui donne 720 organisations possibles des cellules du tableau. Cette visualisation nécessite donc d'être complétée par des interactions spécifiques afin de faciliter la sélection des cellules, c'est-à-dire des profils. Ceci est en adéquation avec la notion « d'interaction fluide

pour la visualisation d'information » (Elmqvist *et al.*, 2011), les interactions et animations sont en effet fondamentales pour la compréhension et l'appropriation d'une visualisation.

### *Manipulation de la structure*

Les données multidimensionnelles peuvent être appréhendées comme des données « à facettes » (*faceted data*), chaque dimension étant une facette d'un même objet (Ranganathan, 1962). Une classification par facettes permet de structurer des données hétérogènes de manière flexible en fonction de différentes catégories sémantiques indépendantes les unes des autres. Par exemple, Ranganathan utilise ce type de classification pour la première fois pour classer des livres par personnalité, matière, espace et temps. Différentes solutions ont été proposées pour manipuler et naviguer dans de tels espaces de données. Des objets tangibles peuvent être utilisés pour représenter chaque facette : en les plaçant sur une table tactile, l'utilisateur peut choisir une valeur pour chaque facette et l'ensemble de données correspondant est affiché (Nagel *et al.*, 2010 ; Jetter *et al.*, 2011 ; Manshaei *et al.*, 2017). Selon ces travaux, l'utilisation d'objets tangibles réduit la distance entre l'espace numérique et l'espace physique, soutient la collaboration et favorise des stratégies de recherche différentes. Les valeurs possibles pour chaque facette peuvent également être affichées et choisies directement sur l'objet tangible (Klum *et al.*, 2012 ; Langner, Augsburg et Dachsel, 2014). Chaque objet tangible correspond donc au niveau « caractéristique » de notre espace, les valeurs associées sont choisies en tactile et les données résultantes sont affichées sur un écran (distant ou sous les objets). Pour les requêtes dans des bases de données (BD), le même type d'interaction est proposé (Pittarello et Stecca, 2010). Par exemple, *Tangible Query Interface* (Ullmer, Ishii et Jacob, 2003) permet de composer des requêtes paramétrées à l'aide d'objets tangibles. Dans ce système, Ullmer et al. s'appuient sur les avantages des TUI comme la collaboration, l'interaction à deux mains et les affordances physiques. Ils précisent avoir choisi d'incarner les paramètres car les données de la BD sont trop nombreuses pour être physicalisées. L'utilisateur choisit un paramètre en posant un jeton tangible dans le support, puis sélectionne la valeur en tournant le jeton. Les valeurs ne sont donc pas non plus incarnées. Dans ces solutions, la tâche principale n'est pas de visualiser l'ensemble des données (tâche Ta1) afin de voir l'avancement et le reste à faire (tâches Ta2 et Ta3), mais de l'interroger afin de filtrer les données à afficher. En conclusion, ces solutions ne permettent pas de répondre à tous nos enjeux.

La « Matrice de Bertin » permet quant à elle de permuter les lignes et les colonnes d'une matrice de données, sous forme de « dominos » fichés dans des pics métalliques, afin de la diagonaliser (Bertin, 1973). Cette méthode a permis à Bertin de prouver l'intérêt de la mobilité interne des images avant même l'utilisation de l'ordinateur. Même si ce système a été remplacé depuis par des versions numériques, sa physicalité permet une bonne affordance et une meilleure appropriation des données (Perin, Dragicevic et Fekete, 2014 ; Perin *et al.*, 2015). Ce système, utilisé à l'origine pour des données à deux dimensions, nous a fortement inspiré dans notre conception pour des espaces à six dimensions. Dans la solution de Bertin, l'usage des barres en métal permet de conserver l'intégrité des données lors de la manipulation (les dominos restent rangés selon la dimension non manipulée). Cependant, dans notre visualisation, l'usage de chaque dimension (X, Y) pour représenter trois caractéristiques en

répétant les valeurs pour obtenir toutes les combinaisons ne nous permet pas d'utiliser exactement la même méthode.

Afin de manipuler la structure de la visualisation présentée dans la section précédente, nous avons exploré diverses pistes de conception. Tout d'abord se pose la question du niveau de granularité auquel manipuler les données. En effet, dans l'espace multidimensionnel l'utilisateur pourrait manipuler les caractéristiques (au nombre de six, par exemple l'âge), les valeurs (environ 4 valeurs par caractéristique x 6 caractéristiques  $\approx$  24 valeurs, par exemple « 3 à 6 ans ») ou les combinaisons de valeurs (environ  $4^6 \approx 4096$  combinaisons, par exemple « une personne adulte experte ayant 1 heure sans situation de handicap et souhaitant explorer »). Les combinaisons de valeurs sont trop nombreuses pour être manipulées individuellement, nous nous concentrons donc sur la manipulation des caractéristiques et des valeurs associées.

En se positionnant au niveau de granularité des caractéristiques, la première piste de réflexion consiste à choisir les caractéristiques les plus importantes dans la constitution du profil. Ceci rejoint la stratégie des expertes de la Cité du Vin qui ont choisi une caractéristique puis ont décliné le parcours selon chaque valeur de celle-ci. Elles ont ainsi choisi de créer leur propre grille en mettant toutes les valeurs de « motivation » dans la première colonne et toutes les valeurs de « nombre de personne » dans la première ligne, puis toutes les valeurs répétées de « âge » dans la deuxième ligne, etc. Dans notre solution de visualisation, où toutes les dimensions sont visibles dès le début (afin de permettre également la stratégie « en profondeur » de l'experte du musée Saint-Raymond, STRATÉGIE), ceci revient à choisir quelles valeurs affecter aux premiers en-têtes de ligne et de colonne. Cela impacte également les autres en-têtes puisqu'il y a six emplacements pour six caractéristiques. Une deuxième piste potentielle est donc la permutation des en-têtes afin d'ordonner les caractéristiques selon leur niveau de priorité. Enfin, en se positionnant au niveau de granularité des valeurs, une troisième piste consiste à choisir directement les valeurs permettant de constituer le profil. Ceci se rapproche de la stratégie de l'experte du musée Saint-Raymond qui a choisi une valeur pour chaque caractéristique afin de constituer un profil complet avant de créer une visite.

Cette analyse nous donne donc trois stratégies possibles pour la manipulation de la structure de l'espace multidimensionnel : 1) choisir les caractéristiques principales, 2) ordonner les caractéristiques selon leurs priorités, et 3) choisir les valeurs constituant un profil. Afin de répondre au besoin de manipulation et de collaboration des utilisatrices, nous avons décliné ces différentes stratégies selon deux types d'interactions : graphiques (GUI) et tangibles (TUI). En effet, les personnels de musée sont habitués à utiliser des GUI et notamment des tablettes tactiles. Ceci nous amène à considérer un espace d'exploration de solutions organisé selon ces deux axes : stratégies et types d'interaction, tel que présenté sur la Figure 28.

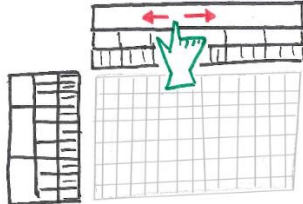
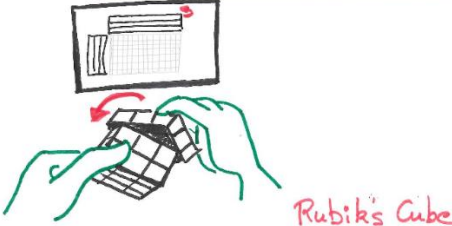
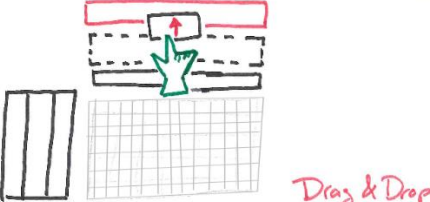
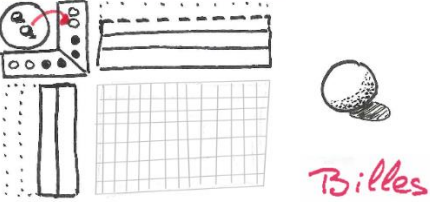
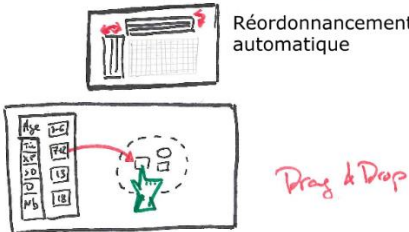
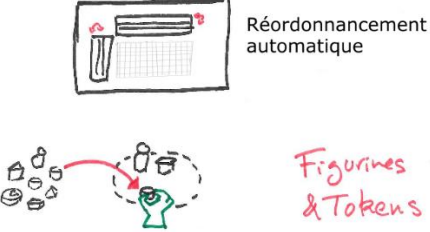
	GUI	TUI
Choisir les caractéristiques principales	 <p>Swipe</p>	 <p>Rubik's Cube</p>
Ordonner les caractéristiques	 <p>Drag &amp; Drop</p>	 <p>Billes</p>
Choisir les valeurs	 <p>Réordonnement automatique</p> <p>Drag &amp; Drop</p>	 <p>Réordonnement automatique</p> <p>Figurines &amp; Tokens</p>

Figure 28 : Espace d'exploration de solutions pour la manipulation de la structure de l'espace multidimensionnel organisé selon deux axes : stratégie de manipulation et type d'interaction.

Pour la première stratégie (première ligne Figure 28), nous avons exploré des solutions permettant de choisir parmi la liste de caractéristiques celle à affecter à chaque en-tête. Afin de manipuler directement l'objet d'intérêt (Shneiderman, 1997), nous avons conçu une solution tactile permettant de « swiper » sur l'en-tête correspondant : à chaque geste de l'utilisateur vers la gauche ou la droite, une caractéristique différente est proposée. Une manipulation identique pour l'interface tangible requerrait un très grand interacteur tangible qui serait par conséquent dur à manipuler. La correspondance graphique entre la face d'un Rubik's Cube™ et le croisement des en-têtes de lignes et de colonnes (Figure 29) nous a inspiré une solution tangible d'objet déporté de forme cubique permettant la même interaction (les cubes étant d'ailleurs très largement utilisés pour les TUI, Lefeuvre *et al.*, 2018). À chaque tour d'une rangée horizontale du Rubik's Cube, une dimension différente est proposée dans l'en-tête de ligne correspondant (voir un exemple Figure 30). De la même manière chaque tour d'une rangée verticale fait varier le contenu de l'en-tête de colonne correspondant. L'analogie graphique est complétée par une analogie conceptuelle entre la complexité des combinaisons possibles dans un Rubik's Cube et la complexité des combinaisons de caractéristiques visiteur. Dans un cas comme dans l'autre la manipulation est nécessaire afin de faire émerger des schémas, que ce soient des facettes de même couleur ou des profils nécessitant le même parcours. La manipulation fluide, simple et rapide du Rubik's Cube (Roudaut *et al.*, 2014) permet ainsi de faire défiler rapidement les différentes configurations de la grille sans avoir besoin de regarder l'interacteur, ce qui permet de se concentrer sur le choix des profils et la

création du parcours de visite. L'objet est de plus petit, de préhension facile (Sheridan, 2003) et peut être facilement passé d'une personne à l'autre dans le cadre d'un travail collaboratif.

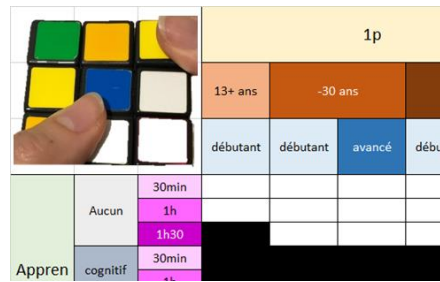


Figure 29 : Analogie graphique entre la grille et la face d'un Rubik's Cube.

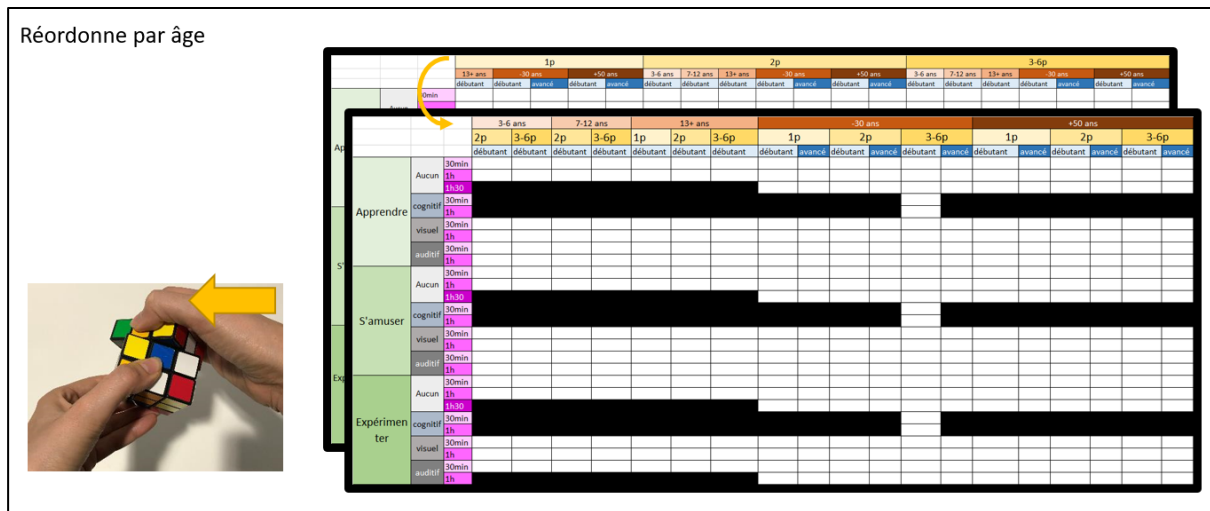


Figure 30 : Exemple d'utilisation de la solution « Rubik's Cube ».

Pour la deuxième stratégie (deuxième ligne Figure 28), nous avons exploré des solutions permettant de permuter les caractéristiques entre plusieurs en-têtes, comme dans la « matrice » de Bertin (1973). Pour l'interface graphique, cette permutation est réalisée en faisant glisser un en-tête d'un emplacement à un autre. Pour l'interface tangible, nous avons souhaité incarner l'unicité des caractéristiques en matérialisant chacune d'entre elles. En nous inspirant de la *Marble Answering Machine* (Bishop, 1992), et du jeu de société « Pièges !<sup>TM</sup> »<sup>13</sup>, nous avons incarné les caractéristiques dans des billes qui peuvent être déplacées entre les emplacements. Cette solution permet une grande flexibilité d'interactions : l'utilisateur peut prendre plusieurs billes en main pour les échanger, enlever temporairement une dimension, construire progressivement la grille, etc. La sélection des profils peut se faire ensuite directement sur la grille (Figure 31), assurant l'unicité des espaces d'action et de perception (Sharlin *et al.*, 2004).

<sup>13</sup> Publicité pour le jeu Pièges !<sup>TM</sup> : <https://www.ina.fr/video/PUB3252500046>

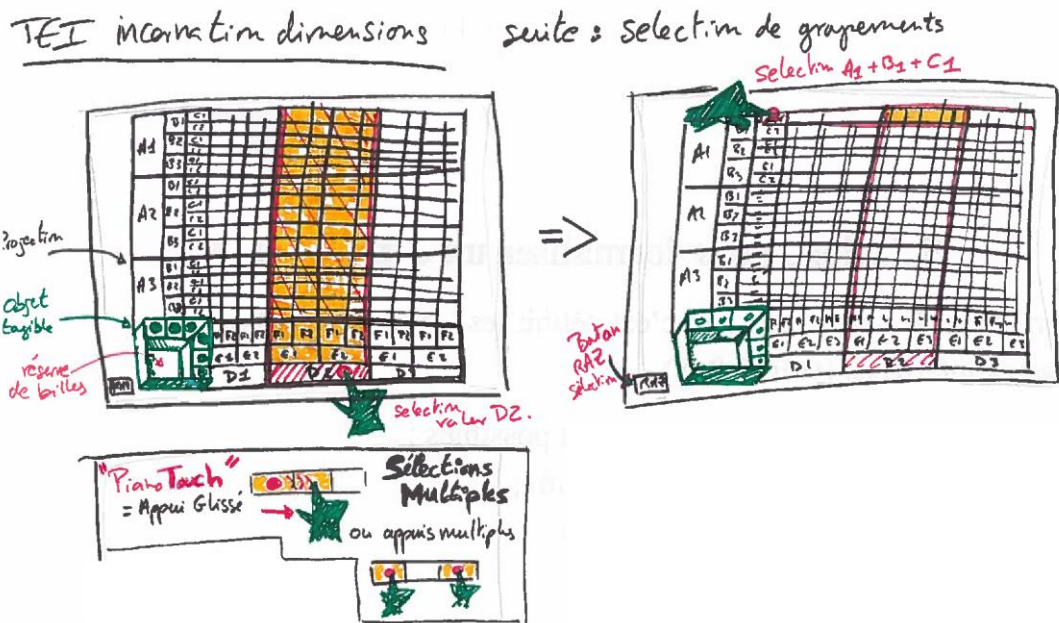


Figure 31 : Sélection des profils à traiter sur la grille multidimensionnelle pour la solution « Billes ».

Enfin, la dernière stratégie (troisième ligne Figure 28) permet de choisir directement les valeurs des caractéristiques pour constituer des profils. La sélection peut se faire en déplaçant des cartes tactiles représentant les valeurs depuis un espace de stockage (Figure 32) ou en manipulant des figurines tangibles (une grande figurine pour un adulte, une plus petite pour un adolescent etc.). L'affordance est ici renforcée par le symbolisme des figurines (Gibson, 1986 ; Norman, 1988) mais cette solution conduit à l'utilisation de nombreux objets. Dans ce cas l'utilisateur ne manipule pas directement la structure de la grille qui se réordonne automatiquement pour positionner côte à côte les profils correspondants. L'utilisateur peut donc être désorienté par le changement distant et non maîtrisé de l'arrangement spatial de la grille multidimensionnelle.

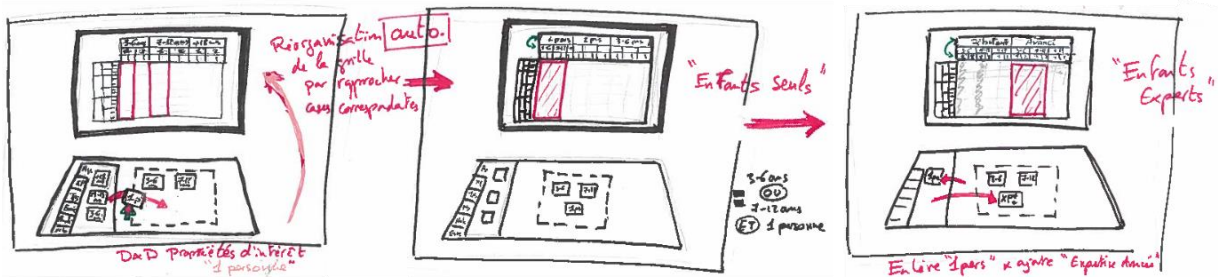


Figure 32: Illustration de la solution « Drag & Drop de caractéristiques ».

L'organisation de l'espace d'exploration selon les deux axes décrits ci-dessus nous permet de comparer simplement ces six solutions potentielles et de faire émerger des questions de conception (Figure 33). Sur l'axe horizontal, nous pouvons interroger l'utilisabilité<sup>14</sup> (efficacité, efficacité, satisfaction) du tangible par rapport au tactile. Sur l'axe vertical, la comparaison de la première et de la deuxième ligne questionne l'impact de l'incarnation de l'unicité des caractéristiques sur leur priorisation (est-il plus facile de choisir les caractéristiques une par une

<sup>14</sup> Norme ISO 9241-11:2018 <https://www.iso.org/fr/standard/63500.html> (02/03/2020)

avec modification automatique des autres ou de toutes les manipuler pour les placer au bon endroit ?). La comparaison de l'une de ces lignes avec la troisième permet de s'interroger sur l'impact de la réorganisation automatique de la grille sur l'orientation spatiale de l'utilisateur. La réorganisation manuelle permet-elle à l'utilisateur de se forger une meilleure carte mentale de l'organisation spatiale de la grille ? Enfin, le niveau de granularité de l'interaction peut également être interrogé : l'utilisateur préfère-t-il manipuler les caractéristiques ou les valeurs lorsqu'il constitue les profils et les parcours ?

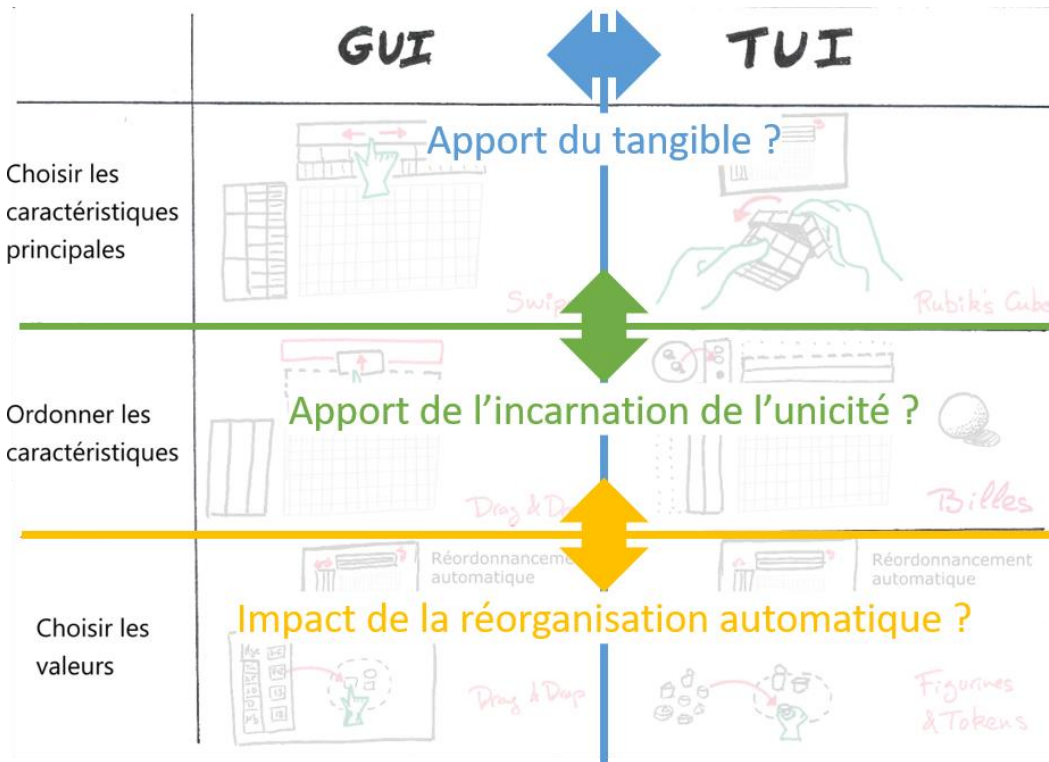


Figure 33 : Utilisation de l'espace d'exploration pour faire émerger les questions de conception.

Avant de pousser plus avant ces questions de conception et afin de recueillir des premiers retours des utilisatrices potentielles de ce système, nous avons organisé un pré-test avec les responsables du service des publics ayant participé à l'analyse de l'activité (R1 et V1, Table 1). Pour R1, l'entrevue a eu lieu dans son bureau au musée Saint-Raymond. Pour V1, l'entretien a été réalisé sur Skype et enregistré en audio. Les séances ont duré 1 heure chacune, nous leur avons tout d'abord montré la visualisation multidimensionnelle puis l'espace d'exploration des six solutions afin de recueillir leurs retours.

Les deux professionnelles ont bien compris le tableau multidimensionnel. V1 a identifié une organisation potentielle de la grille avec les caractéristiques « orientées visiteurs » dans les entêtes de colonne (âge, nombre, accessibilité) et les caractéristiques « liées au contenu » dans les entêtes de ligne (motivation, expertise, durée). Toutes les deux s'accordent sur l'utilité de cette visualisation pour voir l'éventail des possibles, choisir le(s) profil(s) pour le(s)quel(s) créer une visite et être systématique dans le processus de conception. Même si le but n'est pas de créer des parcours pour tous les profils mais de mettre en place des stratégies de création en identifiant ceux qui sont primordiaux et les regroupements potentiels, R1 a trouvé stressant de voir toutes ces cellules vides et craint le syndrome de la « page blanche » face à la grille.



Concernant les solutions d'interaction, V1 a trouvé intéressant de prioriser les caractéristiques (lignes une et deux), car selon elle certaines caractéristiques ont plus d'impact sur la visite que d'autres, en particulier la situation de handicap. Pour R1, le Rubik's Cube et les Billes évoquent des jeux compliqués et « scientifiques », qu'elle ne savait pas forcément « résoudre » étant enfant, elle ne serait donc pas à l'aise pour les utiliser. C'est un point intéressant à prendre en compte pour la conception d'interactions basées sur des jeux et des jouets (Xing et Luo, 2010). Même si les jeux sont faits pour être facilement manipulables, ils portent également un imaginaire de mécanismes plus ou moins complexes à résoudre qui peut décourager les utilisateurs. Des jeux plus orientés « créativité » comme « The Big Idea<sup>15</sup> » ou « Story Cube<sup>16</sup> » auraient pu être plus pertinents pour notre cas d'usage. Pour les deux utilisatrices, les figurines sont la solution la plus appréciée. Elles ont en effet déclaré qu'il était intéressant d'avoir « *tous les critères en main* » (R1), « *on visualise immédiatement l'ensemble des critères* » (V1) et que cela leur permet de se projeter sur le profil du visiteur.

Cette étude pilote nous a permis de confronter à la perspective des utilisateurs les solutions de visualisation et d'interaction sur un espace multidimensionnel. Grâce à ces premiers retours d'expérience, nous pouvons tirer quelques conclusions préliminaires : 1) la visualisation proposée est bien comprise et considérée comme utile, mais le fait de visualiser l'ensemble de l'espace de conception peut décourager ; 2) la solution utilisant des représentations figuratives des valeurs des caractéristiques des visiteurs est la plus appréciée. Dans cette phase de la conception, nous avons tenté de proposer une solution générique permettant d'explorer un espace de conception multidimensionnel. Cependant celle-ci s'avère complexe à appréhender par les utilisateurs finaux qui préfèrent une métaphore plus proche de leurs cas d'usage. Nous nous concentrons donc dans la suite sur une solution plus « centrée métier », dans la continuité de la solution « figurines » qui permet de constituer des profils de visiteurs (tâche Ta9) pour lesquels créer des parcours. L'enjeu de la conception est ici de prendre en compte les tâches de visualisation lors de la constitution de ces profils (tâche Ta1 : voir l'ensemble des possibles, tâche Ta2 : voir l'avancement général, tâche Ta3 : voir ce qu'il reste à faire, tâche Ta4 : voir ce qui est déjà fait, tâche Ta5 : identifier les profils similaires, tâche Ta6 : voir le ou les profils courants).

### 3.2.3. Choix des profils visiteur

Nous rassemblons les différentes pistes évoquées précédemment dans une application répartie sur plusieurs dispositifs, une application *cross-device* d'échelle sociale, semi-fixe et colocalisée afin d'être utilisée par plusieurs utilisateurs selon la classification de Brudy et al. (2019). La création des parcours de visite, telle que décrite dans la section 3.2.1, se fait sur un grand écran tactile au mur (Figure 34, en bleu). La partie de gauche de cette application (Figure 23, en orange), qui permettait de choisir les profils de visiteurs pour lesquels créer des parcours, est déportée sur un dispositif dédié de « sélection de profils » (Figure 34, en rouge) afin de prendre en compte les retours de la section 3.2.2. Comme dans la section précédente, ce

---

<sup>15</sup> Jeu de cartes <https://www.trictrac.net/jeu-de-societe/the-big-idea-0> (03/03/2020)

<sup>16</sup> Jeu de dés <https://www.trictrac.net/jeu-de-societe/rory-s-story-cubes> (03/03/2020)

dispositif est décliné en deux versions afin de favoriser la manipulation directe et la collaboration : tactile (GUI) ou tangible (TUI).

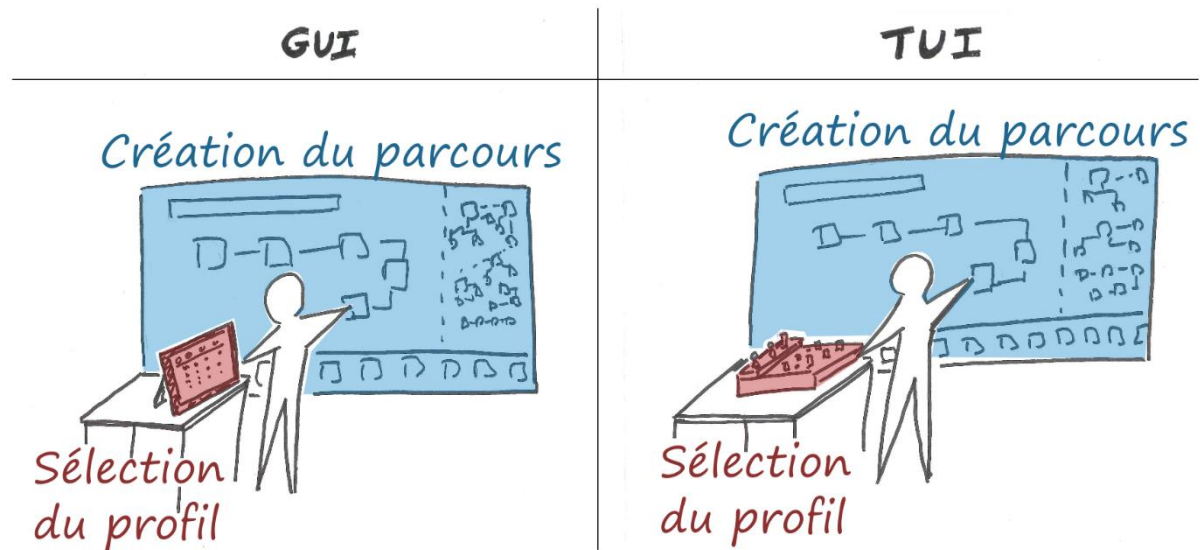


Figure 34 : Application de création de parcours de visite personnalisés répartie sur plusieurs dispositifs : création du parcours sur un écran tactile (en bleu) et sélection du profil visiteur sur une GUI ou une TUI (en rouge).

Le scénario d'usage est le suivant : le ou les professionnels du musée choisissent un thème sur l'écran tactile et préparent un ensemble d'expôts correspondant. Ils sélectionnent ensuite les caractéristiques des visiteurs sur l'outil dédié pour composer un profil pour lequel créer un parcours de visite sur l'écran. Ils peuvent faire des allers-retours entre les deux dispositifs : affiner le profil actuel en ajoutant une nouvelle caractéristique et adapter le parcours créé précédemment ; choisir un nouveau profil et créer un nouveau parcours pour celui-ci ou copier un parcours existant d'un profil à un autre. Afin de répondre aux enjeux identifiés lors des phases précédentes de la conception, nous explorons un nouveau concept pour la partie « sélection du profil » permettant de la conjuguer avec la visualisation en temps réel de la complétude de l'espace de conception. Nous utilisons le terme de « concept » car il est identique quelle que soit la forme de l'interaction, tactile ou tangible, et nous le nommons *MuseoX* dans la suite.

#### *Concept d'interface pour la composition du profil visiteur et calcul de complétude*

*MuseoX* est composé d'un tableau de six colonnes (chaque colonne correspond à une caractéristique) et de six ensembles d'items manipulables, chaque item représentant une valeur possible (cf. Table 4). Le plateau est séparé en deux zones : une zone de sélection en haut et une zone de stockage en bas (Figure 35). Pour composer un profil visiteur, l'utilisateur sélectionne entre une et six valeurs pour les caractéristiques en déplaçant les jetons correspondants de la zone de stockage vers la zone de sélection. Le profil pour lequel l'utilisateur est en train de créer le parcours est donc toujours visible et rassemblé en un même endroit pour permettre à l'utilisateur de se projeter sur celui-ci (tâche Ta6).

L'ensemble des combinaisons possibles n'est pas ici directement visible (tâche Ta1) afin de réduire le « syndrome de la page blanche » décrit dans la section précédente, mais chaque combinaison peut être composée en sélectionnant les items correspondants. Chaque jeton

peut donc être utilisé pour composer des profils avec toutes les combinaisons possibles de jetons des autres caractéristiques. Afin de visualiser l'avancement (tâche Ta2), voir ce qu'il reste à faire (tâche Ta3) et ce qui est déjà fait (Ta4), chaque jeton affiche un « taux de complétude » permettant d'indiquer combien de parcours restent à créer pour les profils contenant la valeur associée au jeton. Chaque valeur est présente dans plusieurs profils, pour lesquels des parcours peuvent être créés de manière plus ou moins affinée, le calcul de ce taux de complétude doit donc prendre en compte les actions passées et les jetons couramment sélectionnés.

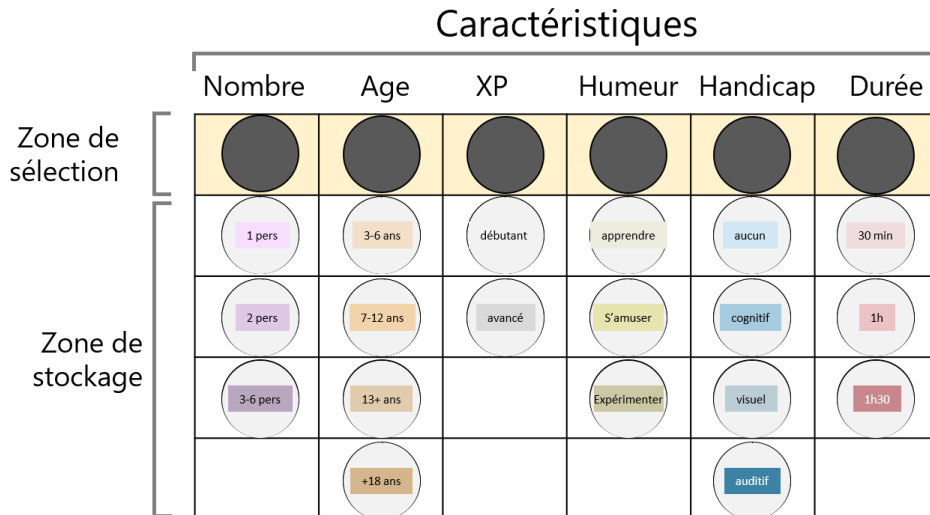


Figure 35 : Le concept d'interface MuseoX : un plateau séparé en deux zones (sélection et stockage) et six colonnes correspondant aux six caractéristiques visiteur, et un jeton pour chaque valeur possible.

Pour commencer, si nous considérons uniquement la stratégie de création de R1 (créer des parcours très spécifiques pour des profils complets à six caractéristiques) alors le taux de complétude du jeton « 3-6 ans » est le nombre de parcours créés (ou déclarés comme non pertinents, c'est-à-dire n'étant plus à faire) pour des profils contenant « 3-6 ans » divisés par le nombre total de profils contenant « 3-6 ans ». Ce calcul donne un ratio fait/à faire pour chaque jeton individuel. L'enjeu est ensuite d'indiquer à l'utilisatrice la complétude des combinaisons au fur et à mesure qu'elle les compose. L'idée est alors de mettre à jour le taux de complétude des éléments de la zone de stockage à chaque sélection d'un jeton. Si l'utilisatrice sélectionne « 1 personne », le taux de complétude du jeton « 3-6 ans » est mis à jour pour afficher le ratio pour les profils « 1 personne de 3-6 ans ». Ainsi dans ce cas, pour un élément E, avec les n éléments  $\{S_i\}_{i \in [1,n]}$  sélectionnés, le taux de complétude de l'élément E peut être calculé ainsi :

$$\text{Taux de complétude (E)} = \frac{\text{Nombre de parcours fait pour les profils contenant E et } \{S_i\} + \text{Nombre de profils contenant E et } \{S_i\} \text{ déclarés non pertinents}}{\text{Nombre de profils contenant E et } \{S_i\}}$$

Par exemple, la Figure 36 montre l'état de l'espace de conception après la phase de déclaration des profils non pertinents pendant l'exercice d'observation au musée Saint-Raymond. Nous remettons ici la grille de visualisation de la section 3.2.2 (Figure 27) afin d'illustrer les explications. Le taux de complétude de l'item « 7-12 ans » peut être calculé, dans ce cas, comme étant le nombre de cases grises sur le nombre total de cases, parmi celles

correspondant à « 7-12 ans » (surlignées en jaune sur la Figure 36), soit 80%. L’item « 7-12 ans » est donc indiqué comme complété à 80% sur le plateau de choix de profil.

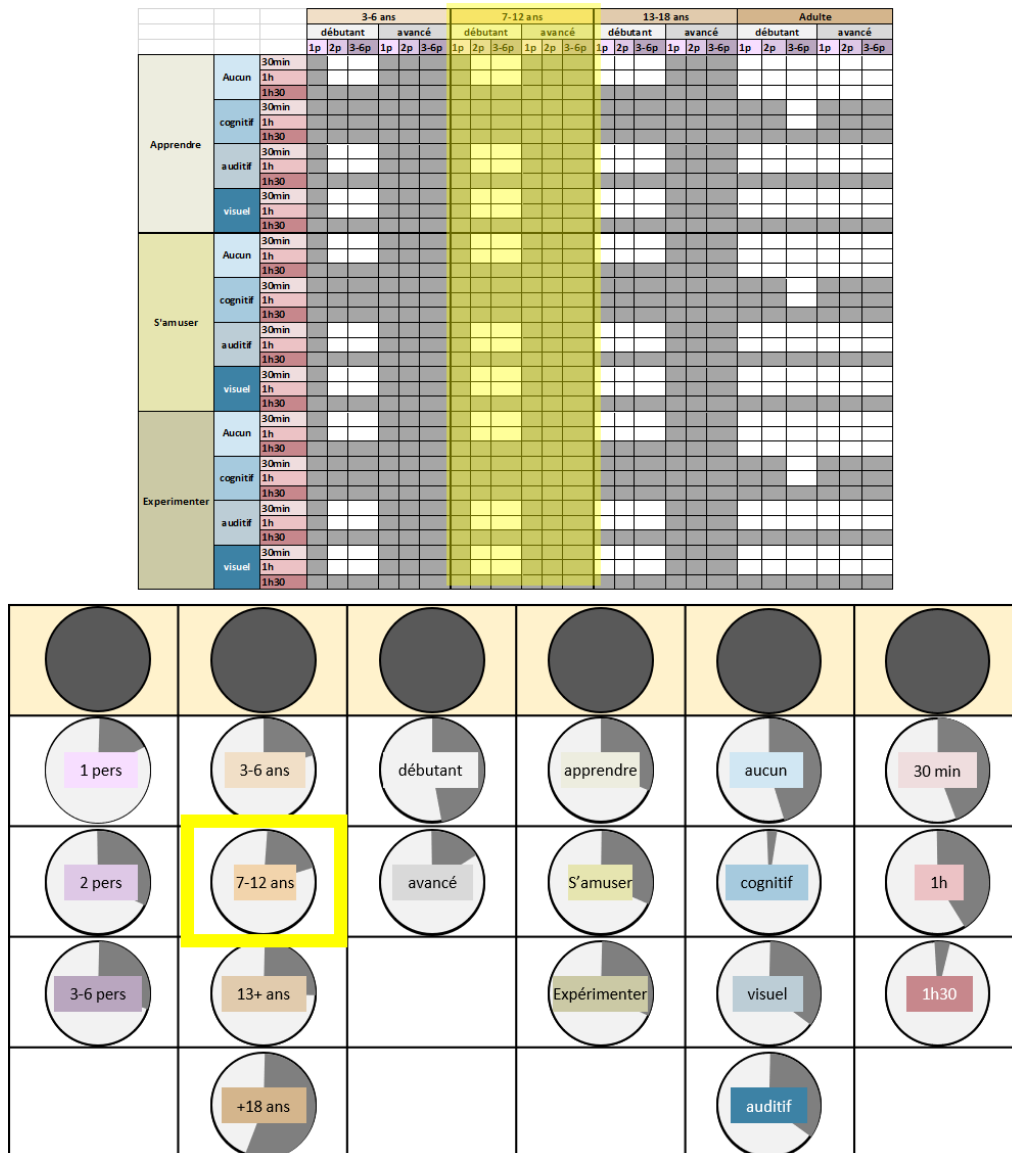


Figure 36 : Exemple de visualisation de la complétude. État initial du plateau après la déclaration des profils non pertinents (en grisé sur la grille). En haut la visualisation multidimensionnelle, en bas le plateau de choix de profils.

Dans la suite du scénario, l'utilisatrice a choisi de sélectionner les enfants de « 7-12 ans ». La Figure 37 montre que dans ce cas, les taux de complétude de la zone de stockage sont mis à jour pour lui indiquer à quel point elle a traité les autres caractéristiques en combinaison avec « 7-12 ans ». Ainsi, le jeton « apprendre » passe d'un taux de complétude de 70% à un taux de 80% car parmi les profils « enfant de 7 à 12 ans », une plus forte proportion a été déclarée comme « non pertinente » et n'est donc plus à traiter. Les taux de complétude des jetons restant dans la zone de stockage peuvent donc aider l'utilisatrice dans le choix des prochaines valeurs à sélectionner pour constituer le profil. Ainsi, elle pourra choisir de terminer des profils déjà bien avancés en sélectionnant des items avec un taux de complétude élevé, ou au contraire de traiter des profils oubliés en sélectionnant des jetons quasiment vides. Une fois un profil complet sélectionné, avec une valeur pour chacune des six caractéristiques,

### Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

l'utilisatrice a alors créé un parcours (ici il serait créé sur le deuxième outil sur l'écran mural) et le taux de complétude est mis à jour à 100% pour chacun des jetons sélectionnés.

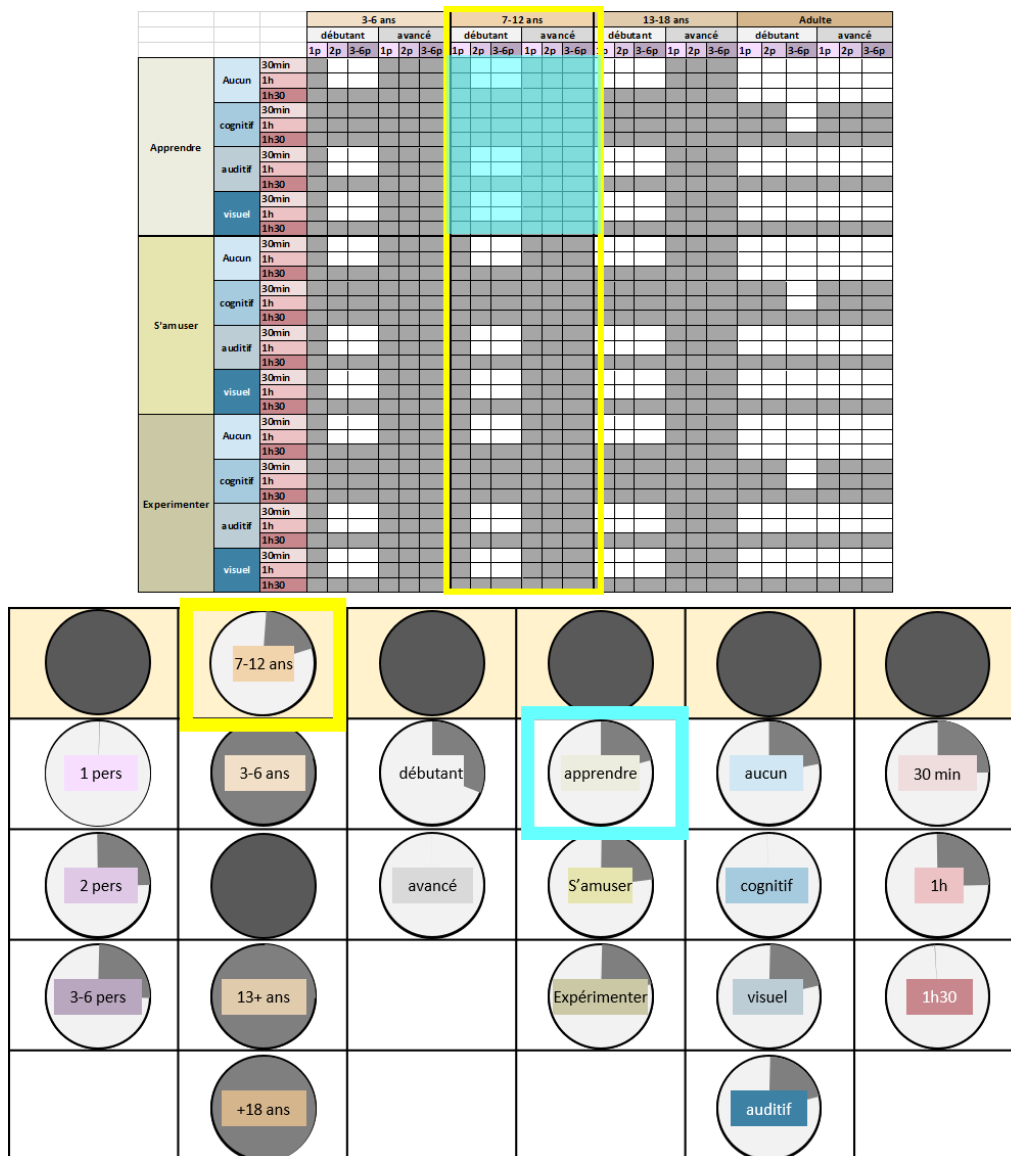


Figure 37 : Exemple de calcul de la complétude dans le cas du musée Saint-Raymond, sélection du profil « 7 à 12 ans » et mise à jour des taux de complétude des éléments de la zone de stockage pour refléter ce choix.

Dans le cas de la Cité du Vin, les expertes ont adopté une stratégie différente et n'ont pas sélectionné des profils complets avant de créer les parcours. Elles ont au contraire procédé par raffinements successifs, en créant des parcours « de base » pour des profils généraux à une caractéristique (par exemple « 1 personne »), qu'elles ont ensuite modifiés pour des profils à deux caractéristiques, puis trois, etc. Il faut donc prendre en compte dans notre calcul de complétude la notion de « raffinement » du parcours ainsi créé pour un profil incomplet. Nous définissons ce « taux de raffinement » comme étant le nombre de caractéristiques pour lesquelles une valeur était sélectionnée au moment de créer le parcours, divisé par le nombre total de caractéristiques (soit 6). Ainsi, dans la stratégie du musée Saint-Raymond, le taux de raffinement des parcours vaut toujours 1 (six valeurs choisies pour les six caractéristiques). Un parcours créé pour un profil avec uniquement le jeton « 1 personne » sélectionné aura un taux

de raffinement de  $1/6^{\text{ème}}$ . Et enfin, pour simplifier les calculs, un profil déclaré comme « non pertinent » se verra affecter un parcours vide avec un taux de raffinement égal à 1, et tout profil non encore traité sera associé à un parcours vide avec un niveau de raffinement de 0. Le taux de raffinement d'un parcours P créé pour un profil Pr peut donc être calculé ainsi :

$$\text{Taux de raffinement (P, Pr)} = \begin{cases} \text{Si Pr « à faire »} = 0 \\ \text{Si Pr « non pertinent »} = 1 \\ \text{Si Pr « fait »} = \frac{\text{Nombre de valeurs composant le profil Pr}}{\text{au moment de la création du parcours P}} \\ \text{Nombre de caractéristiques} \end{cases}$$

Le calcul du taux de complétude doit donc être mis à jour pour tenir compte de ce niveau de raffinement. Pour chaque élément, il faut considérer pour chaque profil contenant cet élément si un parcours a été créé en le prenant en compte (c'est-à-dire si l'élément était sélectionné à ce moment-là) et le taux de raffinement de ce parcours (c'est-à-dire combien d'autres éléments étaient sélectionnés au moment de la création du parcours). Pour un élément E, avec les n éléments  $\{S_i\}_{i \in [1,n]}$  sélectionnés, le taux de complétude de E peut donc être calculé ainsi :

$$\text{Taux de complétude (E)} = \frac{\text{Somme des Taux de raffinement (P,Pr), où Pr contient E et \{S_i\}}{\text{et où E et \{S_i\} étaient sélectionnés à la création de P}}}{\text{Nombre de profils contenant E et \{S_i\}}}$$

Le calcul est le même que E soit dans la zone de stockage ou dans la zone de sélection.

Ce nouveau calcul de complétude permet de prendre en compte les deux stratégies d'exploration de l'espace de conception : en profondeur avec précision ou en largeur par raffinements successifs (STRATÉGIE). Dans les deux cas, notre concept de choix des profils permet de visualiser l'avancement (tâche Ta2) de la création de parcours pour les profils au fur et à mesure de la sélection de valeurs permettant de les composer. Les items ayant des taux de complétude bas permettent de voir ce qu'il reste à faire (tâche Ta3) et ceux avec des taux de complétude à 100% ce qui est déjà fait (tâche Ta4). De plus, cette visualisation progressive se met à jour au fur et à mesure de l'accomplissement de la tâche principale de création de parcours et permet ainsi d'avoir une visibilité moins complexe et oppressante sur l'ensemble des profils à traiter (tâche Ta1). La visualisation multidimensionnelle conserve tout de même un intérêt du fait de son exhaustivité, et les deux interfaces pourraient être présentées en complément l'une de l'autre.

Nous avons validé la compréhensibilité de cette solution avec les deux responsables des services des publics qui collaborent au projet (R1 et V1). Elles ont toutes les deux plébiscité la simplicité du concept : « *tu as [une] balade dans la grille qui est beaucoup plus facile... là effectivement clairement tu te dis il ne me reste rien, je finis celui-là, ça, c'est bouclé* » (V1), par rapport à la solution de visualisation précédente : « *moi je trouve que c'est moins inquiétant que la grosse grille [...] quand tu es arrivée avec la grille, alors que je n'avais que 1000 [profils], je me suis dit que ce n'est même pas la peine de commencer. Tu te dis que tu ne pourras jamais le faire [...] là il faudra quand même les faire mais tu as moins peur de la page blanche* » (R1). R1 a déclaré qu'avec cette solution elle se passerait de la grille, tandis que V1 souhaiterait la conserver afin d'avoir « *une vision vraiment globale* », car cela « *peut être rassurant de se dire oui ça avance* » (V1). Elles ont toutes les deux apprécié le fait que l'interface leur permette de mettre en place des stratégies de choix (« *tu peux prioriser* », V1) et de se projeter sur les profils

de visiteur : « *c'est mieux d'avoir tous les critères sur lesquels on travaille vraiment qui sont sélectionnés dans la première ligne* » (R1).

### *Représentation des valeurs des caractéristiques de visiteurs*

Afin de favoriser cette projection sur les profils des visiteurs (EMPATHIE), et faciliter la sélection des variables, nous avons décidé de représenter chaque variable par un pictogramme. Pour nous aider à choisir une représentation abstraite appropriée pour chaque jeton, nous avons mené une étude d'élicitation (Wobbrock *et al.*, 2005 ; Vatavu et Wobbrock, 2015) afin de maximiser la « *guessability* » des pictogrammes. Nous avons demandé à 13 personnes recrutées dans notre entourage professionnel de dessiner un symbole par case pour chaque valeur de caractéristique de la Table 4 (sauf pour les handicaps pour qui des pictogrammes standardisés<sup>17</sup> existent) sur une feuille A4 divisée en grille (voir deux exemples de grille de réponse Figure 38). Nous avons ensuite regroupé les réponses par similarité (par exemple, plusieurs personnes ont représenté la valeur « adulte » par une chope de bière). Puis nous avons choisi le symbole apparaissant le plus de fois pour chaque valeur de caractéristique. La convergence était très forte pour un « nombre de bonhommes » figurant le nombre de visiteurs (10/13) et des « objets caractéristiques » pour représenter les âges (6/13), même si les objets choisis pour chaque âge étaient moins unanimes (par exemple 3/6 écouteurs et 3/6 smartphones pour la tranche d'âge « 13-18 ans », nous avons donc combiné les deux dans le pictogramme final). L'ensemble des pictogrammes ainsi choisis, ainsi que les pictogrammes normalisés pour les situations de handicap sont présentés Figure 39.

---

<sup>17</sup> Pictogrammes proposés par le ministère de la Culture : <https://www.culture.gouv.fr/Sites-thematiques/Developpement-culturel/Culture-et-handicap/Informations-pratiques/Pictogrammes/Pictogrammes> (02/03/2020)

### Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées



Figure 38 : Réponses de deux participants pour l'étude d'élicitation pour le choix des pictogrammes.

MuseoX permet de répondre aux préconisations et besoins extraits de l'analyse de l'activité pour le choix des profils et la visualisation de l'avancement mais présente également un



ensemble de limitations. Afin de simplifier la composition des profils, nous avons adopté la posture de R1 qui a considéré la valeur la plus contraignante pour le groupe (l'âge du plus jeune, l'expertise du moins expérimenté, etc.). Il n'est donc pas possible de composer des groupes avec un enfant de 3 à 6 ans ET un enfant de 7 à 12 ans. De la même manière, ce concept ne permet pas de définir le même parcours pour un profil avec une personne OU deux personnes. Il faut composer le profil « une personne », créer le parcours puis le copier pour « deux personnes ». Il serait également intéressant de pouvoir créer un parcours pour toutes les valeurs d'une caractéristique, ou toutes les valeurs sauf une. Ce concept pourrait donc être augmenté avec des jetons « ET », « OU », « TOUS » et « NON » afin de répondre à ces cas d'usage, comme exploré dans des travaux comme ceux de Grote et al. (2015). Pour cette première version du concept, nous nous sommes limités à des cas simples (sans langage booléen) afin d'explorer la pertinence de combiner la constitution du profil et la visualisation de la complétude sur une même interface d'aide au choix.

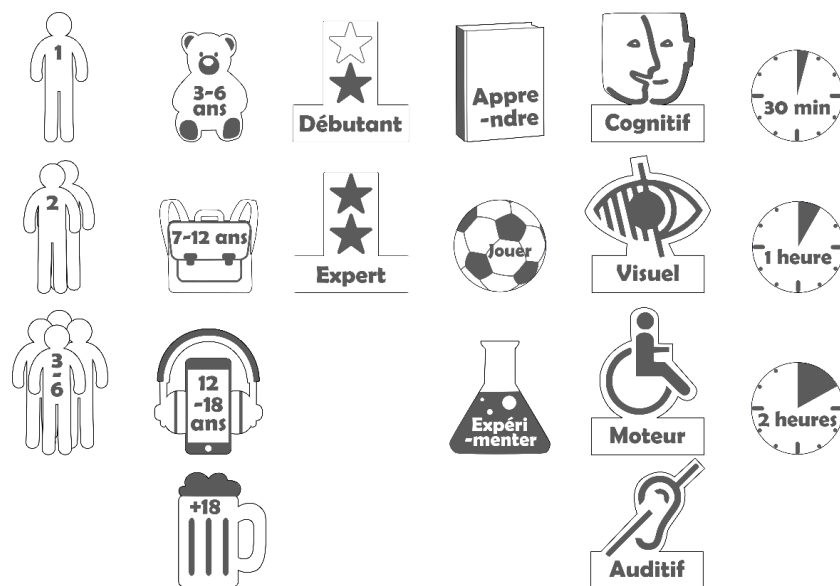


Figure 39 : Pictogrammes dessinés en vectoriel à la suite de l'étude d'élicitation.

### 3.3. Développement de MuseoTUI et MuseoGUI

Nous explorons dans la suite les instanciations tangible (MuseoTUI à droite sur la Figure 34, page 73) et tactile (MuseoGUI à gauche sur la Figure 34) de MuseoX. En effet, les personnels de musée sont habitués à utiliser des GUI et notamment des tablettes tactiles, qui favorisent en outre la manipulation directe des éléments (Shneiderman, 1997). Les TUI favorisent quant à elles la collaboration (Ullmer, Ishii et Jacob, 2003), l'affordance physique (Perin, Dragicevic et Fekete, 2014), la mise en place de stratégies variées (Jetter *et al.*, 2011) et la manipulation d'informations abstraites (Jacob *et al.*, 2002 ; Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).

#### 3.3.1. MuseoTUI : instanciación tangible du choix des profils

Afin d'aider les professionnels des musées à se projeter sur les profils des visiteurs (EMPATHIE), nous avons choisi d'incarner les valeurs possibles des caractéristiques des visiteurs sous la forme de figurines tangibles. Les figurines sont basées sur les pictogrammes issus de l'étude d'élicitation. En outre, nous avons choisi de donner une forme spécifique au socle des

figurines d'une même colonne et aux encoches dans la zone de sélection, afin de garantir que les utilisateurs sélectionnent une seule valeur par caractéristique (c'est-à-dire que les figurines ne peuvent pas être placées dans une encoche d'une autre colonne dans la zone de sélection). Nous avons choisi les six formes suivantes pour qu'elles soient bien différenciées : cercle pour le « nombre de personnes », hexagone pour « l'âge », triangle pour le « temps disponible », octogone pour la « situation de handicap », carré pour la « motivation » et pentagone pour le « niveau d'expertise » (Figure 40). L'hexagone et l'octogone étant tout de même assez similaires nous n'avons pas placé les colonnes correspondantes côte à côte afin d'éviter que l'utilisateur n'essaie de positionner une forme incompatible dans la colonne d'à côté. Ces figurines et leurs socles ont ainsi été découpés et gravés dans du plexiglass de 6mm à l'aide d'une découpeuse laser puis assemblés à l'acétone (Figure 40).



Figure 40 : Figurines en plexiglass incarnant les valeurs des caractéristiques visiteur dans MuseoTUI. Chaque figurine a un socle de forme différente selon la caractéristique correspondante.

Comme décrit ci-dessus, chaque figurine présente le taux de complétude pour les profils contenant la valeur de la caractéristique qui lui est associée. Nous avons choisi de représenter ce niveau par la métaphore de remplissage lumineux des figurines par des LED, dans la lignée de la « visualisation de données physiques » (*Data Physicalisation*, Jansen et al., 2015) et de projets comme *Erlen* (Cinquin et al., 2018), *Physically Dynamic Bar Charts* (Taher et al., 2015) ou encore *CairnFORM* (Daniel, Rivière et Couture, 2019). Nous avons ainsi conçu des boîtiers en impression 3D<sup>18</sup> à intégrer dans le plateau et permettant d'accueillir et illuminer chaque figurine. Ceci nous permet de simplifier l'alimentation des LED afin de ne pas avoir besoin d'alimenter chacune des 21 figurines indépendamment (pas de batterie à inclure dans chaque figurine). Ces boîtiers abritent également un lecteur RFID afin de détecter la position de chaque figurine et mettre à jour la luminosité associée (Figure 41). La contre-forme de l'encoche découpée au laser est insérée dans la partie supérieure de la boîte pour maintenir la bande de LED. Sa face inférieure est gravée afin de mieux diffuser la lumière. Nous avons testé le silicone pour créer des figurines en volume, mais le processus est long (création de la forme en impression 3D, création du moule en résine puis coulage du silicone) et ne permet pas de bien

<sup>18</sup> La modélisation 3D, l'impression 3D et la découpe laser ont été faites avec le support de Denis Géral, responsable des plateformes pédagogiques de l'ESTIA.

diffuser la lumière. L'utilisation de figurines directement imprimées en 3D ne permet pas non plus une bonne illumination sans incorporer les LED dans la figurine en elle-même.

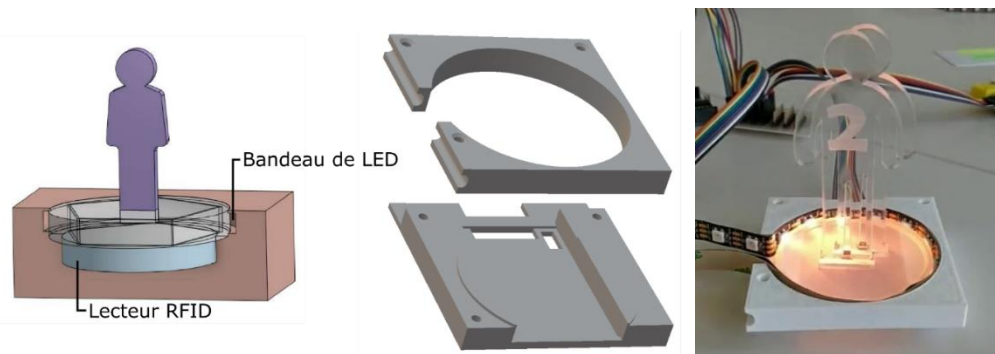


Figure 41 : Boîtiers 3D accueillant le lecteur RFID et les LED afin de détecter et illuminer les figurines de MuseoTUI.

Le plateau global (Figure 42) est un assemblage de plaques de medium de 3mm découpées au laser afin de faire passer les câbles et avoir plusieurs niveaux pour contenir les boîtiers 3D, mettre en évidence la zone de sélection en la surélevant légèrement et fixer les composants électroniques sur le dessous. Pour détecter la position des figurines, nous avons choisi des lecteurs RFID NXP MFRC-522 largement accessibles et bien documentés. Ils ont été utilisés en conjonction avec des étiquettes autocollantes RFID passives OBO Hands NTAG213 collées sous la base de chaque figurine. Ce choix technologique assure un remplacement facile des figurines, et offre une grande flexibilité de conception (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005 ; Kubicki *et al.*, 2009). Pour la partie électronique, nous avons choisi d'utiliser un Arduino par colonne (soit six au total). Chaque Arduino est connecté avec les quatre à six lecteurs RFID de la colonne grâce à un circuit imprimé personnalisé, et communique par SPI. Chacun détecte automatiquement le nombre de figurines présentes dans la colonne à l'initialisation. Ceci garantit une plus grande flexibilité quant au nombre de caractéristiques et de valeurs. Afin d'éviter les interférences, les lecteurs RFID d'une même colonne sont allumés puis éteints alternativement pour la détection et du papier aluminium isole les colonnes les unes des autres.



Figure 42 : Montage du plateau de MuseoTUI. Gauche) boîtiers contenant LED et RFID vissés dans le niveau inférieur. Milieu) Cales en medium et contre-formes placées dans les boîtiers. Droite) Niveau supérieur fixé sur le dessus des boîtiers, avec les figurines positionnées dans les contre-formes de la zone de stockage.

Chaque Arduino est également relié à une bande de LED, de longueur 12 fois le nombre de figurines présentes dans la colonne (Figure 43). L'ensemble des LED est alimenté par une alimentation externe 20A 5V. Les six cartes Arduino sont connectées par USB à un Raspberry Pi 3 assurant la communication par web sockets avec le service de calcul et la base de données

(Python, SQLite et Peewee ORM) sur un ordinateur distant. Cette partie logicielle a été développée durant le stage de Vincent Fougeras (M1 IHM Toulouse).

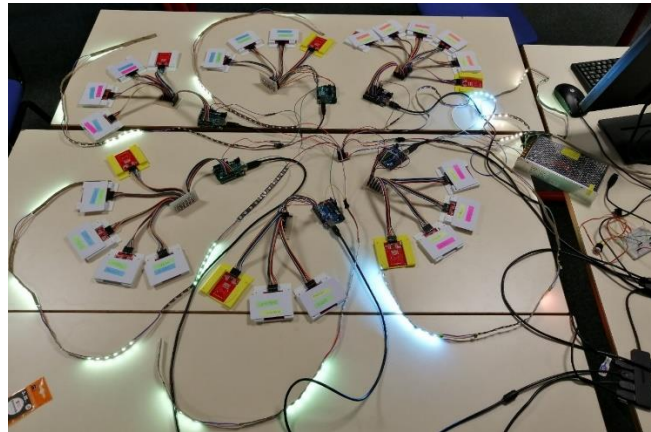


Figure 43 : Ensemble de l'électronique (Arduino, RFID, LED, Raspberry Pi) avant rangement dans le plateau de MuseoTUI.

Nous avons choisi de mapper le taux de complétude sur 12 LED et 13 niveaux de luminosité (Figure 44), pour qu'il y ait une évolution progressive et fréquente du feedback donné à l'utilisateur. Avec un moins grand nombre de niveaux, la création d'un parcours par l'utilisateur ne résultait pas toujours en un changement de luminosité. Chaque niveau est représenté à la fois par une couleur et un nombre de LED allumées, correspondant aux variables visuelles *couleur* et *valeur* de Bertin (1973). La *couleur* permet de porter une signification sémantique (du rouge = mauvais au vert = bon dans la culture européenne), avec des couleurs très distinctes pour les niveaux « à faire » (rouge/violet très foncé permettant de déterminer que la figurine est bien détectée par le système) et « complètement fait » (bleu très clair pour indiquer qu'aucune action supplémentaire n'est nécessaire). La *valeur* permet quant à elle de classer les niveaux de manière croissante, celle-ci étant une variable ordonnée selon la sémiologie graphique de Bertin (1973). L'idée n'est pas d'avoir une visualisation précise du taux de complétude (connaître le pourcentage exact), mais de voir l'évolution et pouvoir comparer les figurines afin de choisir quelles valeurs traiter par la suite.



Figure 44 : les différents niveaux lumineux et colorés du taux de complétude des figurines de MuseoTUI.

La partie « création du parcours de visite » sur l'écran au mur (Figure 34) est ici réduite à deux boutons qui simulent cette partie : un pour « créer un parcours » et un pour « déclarer le profil impossible ». Dans le concept général, ces actions seraient incluses dans le flux de création du parcours, avec le choix des œuvres et la visualisation des parcours déjà créés pour les profils choisis ou équivalents. Ces boutons sont présentés dans un boîtier à part afin de marquer la séparation des deux interfaces. Ceci limite fortement les actions possibles mais nous permet de nous concentrer sur le processus de constitution des profils visiteur en lui-même.



Figure 45 : Boutons de création de parcours et de déclaration d'un profil impossible. À droite le prototype complet pendant l'expérimentation, les boutons pouvaient être placés à droite ou à gauche selon le choix de l'utilisateur.

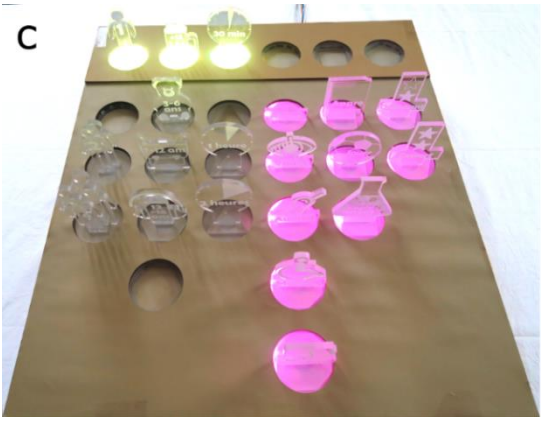
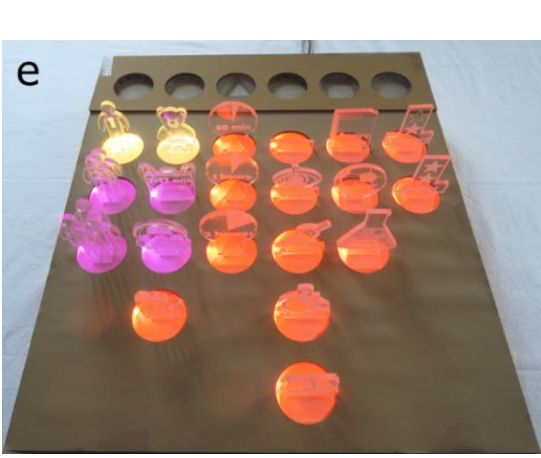
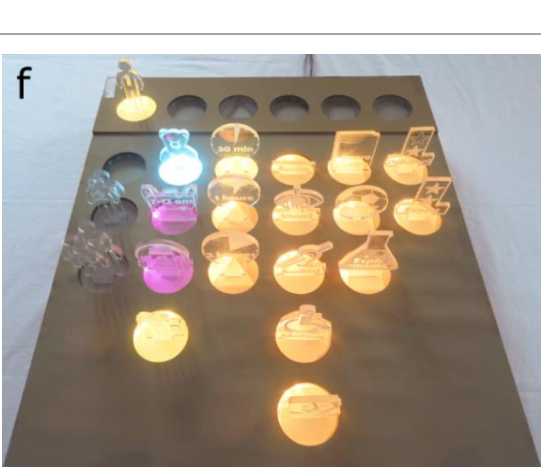
Nous décrivons ci-après un scénario d'usage de MuseoTUI, inspiré de l'analyse du besoin, afin d'illustrer son fonctionnement (à cause de la prise de vue, les photos sont plus claires et plus vives qu'en réalité).



Le plateau est divisé en six colonnes et deux zones : une de sélection et une de stockage. Les figurines représentant les valeurs de chaque caractéristique sont placées au lancement dans la zone de stockage de la colonne correspondante, à l'initialisation elles sont toutes violet foncé tant qu'aucun parcours n'a été créé. Afin de composer un profil visiteur, l'utilisateur peut sélectionner une à six caractéristiques en déplaçant la ou les figurine(s) correspondante(s) de la zone de stockage vers la zone de sélection (EMPATHIE).



Ici, l'utilisatrice déplace les figurines « une personne » et « adulte » et crée un parcours pour les adultes seuls en appuyant sur le bouton « créer » (Figure 45). Cette visite est stockée pour tous les profils contenant les figurines sélectionnées, c'est-à-dire tous les tuples (n, a, t, h, m, e) où n = « un » et a = « adulte » avec un taux de complétion de 2/6<sup>ème</sup> puisque deux caractéristiques sont renseignées sur les six possibles. Les figurines sélectionnées prennent donc une teinte jaune/orangée correspondant à ce niveau de complétude. Les autres figurines restent au niveau 0 puisqu'elles n'ont pas été utilisées pour créer le parcours.

	<p>Suivant la stratégie de création itérative, l'experte affine la visite pour un adulte seul en 30 minutes en ajoutant la figurine « 30 minutes » et en appuyant sur le bouton "créer". Le taux de complétude évolue alors pour refléter cet affinage et passe à 3/6<sup>ème</sup> pour les figurines sélectionnées qui s'illuminent en jaune plus clair.</p>
	<p>L'utilisatrice décide ensuite d'éliminer tous les profils de jeune enfant seul car les jeunes enfants sont toujours accompagnés. Elle place les figurines « un » et « 3-6 ans » dans la zone de sélection et appuie sur le bouton « profil impossible ». Toutes les figurines s'illuminent alors en bleu clair afin de signifier que plus aucune action n'est requise pour les enfants seuls de 3 à 6 ans, quelles que soient les valeurs des autres caractéristiques.</p>
	<p>L'utilisatrice replace ensuite toutes les figurines dans la zone de stockage pour chercher une nouvelle idée de parcours à réaliser. Dans la colonne de l'âge, elle peut voir que la figurine « 3 à 6 ans » (en haut) est orange, ce qui signifie qu'il lui reste un peu plus de la moitié des profils contenant des jeunes enfants à traiter. Les figurines des « 7-12 ans » et « 13-18 ans » sont violet foncé, indiquant qu'aucun parcours n'a été créé pour des profils de ces âges. Enfin la figurine « adulte » (en bas) est rouge, indiquant que peu de parcours ont été créés pour les adultes.</p>
	<p>L'utilisatrice décide de sélectionner de nouveau « une personne », pour « terminer » cette valeur déjà bien avancée puisque orange. La zone de stockage est alors mise à jour pour refléter la quantité de parcours restant à créer pour chaque figurine en combinaison avec « une personne ». Dans la colonne d'âge, la figurine « 3-6 ans » est bleu clair afin d'indiquer que plus rien n'est à faire pour un enfant seul de cet âge (car ce profil a été déclaré impossible). La figurine « adulte » est jaune car</p>

	<p>certain parcours ont déjà été créés pour les adultes seuls.</p>
	<p>L'utilisatrice décide de sélectionner « adulte » pour continuer sa stratégie de raffinement (STRATÉGIE). Les couleurs mises à jour dans la zone de stockage lui rappellent qu'elle a déjà créé des parcours pour les adultes seuls en 30 minutes (figurine jaune), mais pas pour les autres durées (figurines violettes). Elle voit aussi qu'elle n'a pas tenu compte des situations de handicap possibles des visiteurs, de leur motivation ou de leur niveau d'expertise (figurines violettes).</p>
	<p>MuseoTUI peut également être utilisé pour déployer l'autre stratégie observée (STRATÉGIE). L'utilisatrice peut composer un profil très spécifique en sélectionnant six valeurs pour les six caractéristiques et créer une visite précise. Après appui sur le bouton « créer », les figurines sélectionnées deviennent bleu clair afin de signifier que plus aucun travail n'est nécessaire pour ce profil.</p>

Ce prototype est de type *token+constraint* au sens de Ullmer, Ishii et Jacob (2005). Chaque figurine est un *token* incarnant les données choisies (les valeurs des caractéristiques) et chaque encoche dans le plateau est une *constraint* (« *constraint* ») présentant les fonctions de sélection/désélection des valeurs pour le profil. Le positionnement de MuseoTUI par rapport à ce paradigme d'interaction est discuté plus en détail dans le Chapitre 5.

### 3.3.2. MuseoGUI : instanciation tactile du choix des profils

MuseoGUI, la version graphique de MuseoX a été conçue et développée pendant le stage de Vincent Fougeras (M1 IHM Toulouse). L'application a été réalisée en Vue.js et Interact.js afin de fonctionner dans le navigateur web d'une surface tactile Microsoft (Figure 46) et réutilise le service de calcul et la base de données développés pour MuseoTUI. Notre but en développant cette interface était de pouvoir comparer deux instanciations du concept avec des types d'interaction différents (tangibles et tactiles). La conception de MuseoGUI a donc été guidée par un souci d'équivalence de représentation avec MuseoTUI.



Figure 46 : MuseoGUI, une application tactile d'aide au choix de profils visiteur permettant de visualiser l'avancement de la tâche de création de parcours de visite personnalisés.

Comme pour l'équivalent tangible, MuseoGUI se compose d'un tableau de six colonnes et de deux zones (stockage et sélection), et d'un ensemble de jetons représentant les valeurs des caractéristiques. Les boutons de création de parcours et de déclaration d'un profil impossible sont ici situés directement sur l'interface au-dessus de la zone de sélection. La sélection des valeurs des caractéristiques permettant de composer un profil se fait par glisser-déposer des jetons depuis la zone de stockage vers la zone de sélection. Nous avons repris les pictogrammes définis lors de l'étude d'élicitation, ainsi que les différentes formes pour chaque colonne (cercle, hexagone, triangle, etc.). Nous avons également construit une gamme colorée pour la représentation du taux de complétude (Figure 47). Nous avons cherché à la rendre la plus équivalente possible à celle de MuseoTUI, malgré les différences de rendu de la lumière entre nombre de LED RGB allumées et gestion des couleurs d'un écran. Pour des contraintes de matériel disponible, les prototypes diffèrent par leur taille, la tablette étant plus petite que MuseoTUI. Nous avons également limité les interactions possibles sur MuseoGUI (par exemple, le déplacement automatique des éléments) par cohérence avec les interactions de MuseoTUI.

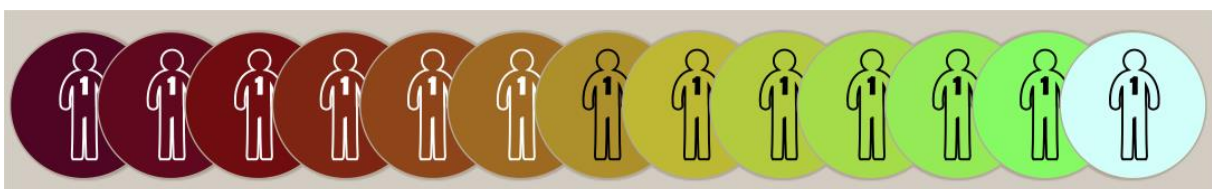


Figure 47 : Les différents niveaux colorés du taux de complétude des jetons de MuseoGUI.

### 3.4. Évaluation de MuseoTUI et MuseoGUI

Nous avons mené des tests utilisateurs afin d'évaluer la compréhension et l'utilité du concept de choix de profils dans le contexte professionnel, d'observer les stratégies de création et de comparer l'utilisabilité et l'expérience utilisateur de MuseoTUI et MuseoGUI. Nous nous sommes inspirés du protocole expérimental de Jetter et al. (2011) pour évaluer la



compréhensibilité des prototypes et observer les stratégies de création. Nos hypothèses expérimentales pour cette étude étaient les suivantes :

- H1 : nous postulons que le concept de choix de profils est compréhensible par les utilisateurs finaux quel que soit le type d'interaction (tactile ou tangible)
- H2 : concernant l'utilisabilité, nous postulons que la TUI est plus satisfaisante (meilleures qualités hédoniques) même si la GUI est plus efficace (meilleures qualités pragmatiques, temps de réalisation plus court) comme suggéré par Ullmer, Ishii et Jacob (2005).
- H3 : nous postulons une préférence des utilisateurs pour l'interaction tangible de MuseoTUI par rapport à MuseoGUI. Des études précédentes ont démontré la préférence des utilisateurs pour le tangible, mais uniquement dans des domaines non-professionnels (Zuckerman et Gal-Oz, 2013).

Nous avons également recueilli des données qualitatives pour mieux comprendre l'expérience des utilisateurs, leurs préférences et l'adéquation des prototypes à un usage professionnel. Nous souhaitons également mieux comprendre les stratégies de composition de profils et vérifier que notre système supportait diverses tactiques.

### 3.4.1. Protocole expérimental

Nous avons utilisé les prototypes MuseoTUI et MuseoGUI tels que décrits dans les sections précédentes. Chaque application communiquait par WebSocket avec un même ordinateur portable hébergeant le serveur web et la base de données, afin de garantir un même temps de calcul. Une seule application était en cours d'exécution à la fois. Nous avons fourni aux utilisateurs une légende pour les niveaux de complétude pour chaque interface (Figure 48).



Figure 48 : légende pour les niveaux de complétude, à gauche MuseoGUI et à droite MuseoTUI.

Les deux prototypes de choix de profils visiteur étaient présentés seuls, sans la partie de création des parcours de visite, mais le dispositif global *cross-device* était expliqué en montrant en support le schéma de la Figure 34. Ce protocole a été pré-testé avec quatre employés de Berger-Levrault afin de vérifier la bonne compréhension des questions, le bon déroulement et l'interprétabilité des résultats obtenus.

### *Participants*

Huit professionnels du service des publics de quatre institutions culturelles de domaines variés (Beaux-Arts, Fondation culturelle avec des expôts numériques, Musée des antiques, Musée d'histoire et lieu de mémoire) ont participé à l'expérimentation (Table 5). Deux

participantes (V1, R1) ont suivi tout notre processus de conception (entretien, observation, évaluation), deux participants avaient uniquement répondu aux entretiens semi-structurés (A1, R2) et quatre participantes (A2, V3, R3, M1) ne connaissaient pas le projet avant l'expérimentation. Les participants ont été recrutés dans les musées partenaires et parmi nos contacts. Six étaient droitiers et deux gauchers, aucun n'a signalé de problèmes de vision des couleurs (daltonisme) et une participante (V1) a signalé des problèmes de mobilité des membres supérieurs. Ils ont tous déclaré être à l'aise avec les écrans tactiles avec un score moyen de 4,625 sur une échelle de cinq points (écart-type = 0,518) et une utilisation quotidienne de la technologie. Les institutions culturelles des participants ne proposent pas pour l'instant de visites personnalisées, les médiateurs culturels créent donc essentiellement des visites guidées ou des ateliers, en nombre très limité. Actuellement leur fréquence de création de visites est donc d'une fois par mois voire une fois par an, mais tous ont l'habitude d'en créer régulièrement.

Table 5 : Liste des participants pour les entretiens semi-structurés (E) et les observations (O) (Table 1) mise à jour avec ceux ayant participé à l'évaluation utilisateur (U).

	<i>Institution</i>	<i>Poste</i>	<i>Expertise</i>	<i>Age</i>	<i>E</i>	<i>O</i>	<i>U</i>
A1	Musée des Augustins	Médiatrice culturelle	13 ans	42	•		•
A2		Médiatrice culturelle	5 ans	46			•
V1	Cité du Vin	Responsable de la médiation culturelle	20 ans	44	•	•	•
V2		Responsable scientifique. Responsable de l'exposition permanente	9 ans	57		•	
V3		Référente médiation culturelle	3 ans	27			•
R1	Musée Saint-Raymond	Responsable du Service des publics et de la communication	19 ans	51	•	•	•
R2		Médiateur culturel et assistant de conservation	6 ans	34	•		•
R3		Médiatrice culturelle et assistante de conservation	1 an	32			•
M1	Musée de la résistance	Médiatrice culturelle	3 ans	27			•

### *Procédure*

Après une phase d'explication du protocole, nous avons demandé aux participants de signer les formulaires de consentement éclairé et de droits à l'image (validés par le service juridique de Berger-Levrault) puis de répondre à une série de questions démographiques (questionnaire réalisé avec FramoForm). L'expérimentation s'est ensuite déroulée en cinq étapes : familiarisation, compréhension, manipulation dirigée, manipulation libre et enfin un questionnaire standardisé *User Experience Questionnaire* (UEQ ; Laugwitz, Held and Schrepp, 2008) et des questions qualitatives (les questionnaires des différentes étapes peuvent être trouvés en Annexe 3A et les résultats en Annexe3B). Après une pause de cinq minutes, le participant répétait les cinq phases pour le deuxième style d'interaction. Après avoir expérimenté les deux variations, les participants étaient invités à indiquer leur préférence et à argumenter leur choix.

## Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

Au cours de la phase de familiarisation, nous avons expliqué aux participants la composition du plateau et nous leur avons montré comment sélectionner des profils de visiteurs, créer et raffiner des visites et déclarer un profil impossible. Les participants pouvaient ensuite s'exercer aussi longtemps qu'ils le voulaient. En moyenne, ils ont manipulé MuseoGUI pendant 02:07 minutes (écart-type = 01:08) et MuseoTUI pendant 04:04 minutes (écart-type = 01:44).

Pendant la phase de compréhension, le système était programmé pour prendre successivement neuf configurations spécifiques (différentes positions des figurines/jetons et couleurs) pour lesquelles les participants étaient invités à répondre à une question sans manipuler le système (Jetter *et al.*, 2011). Comme suggéré par Giraud *et al.* (2017), nous avons fourni quatre réponses à choix multiples pour chaque question, réduisant ainsi le taux de hasard à 25 %. Quatre questions portaient sur la couleur des figurines/jetons, deux questions sur la sélection des valeurs et trois questions sur les couleurs des combinaisons de valeurs pour constituer un profil.

Durant la phase de manipulation dirigée, nous avons demandé aux participants d'effectuer 12 tâches précises sur le dispositif. Pour six d'entre elles, il fallait créer un parcours pour un profil constitué d'une à six valeurs, dans quatre cas le participant devait dériver ces visites en changeant les valeurs de certaines caractéristiques, et deux tâches consistaient à déclarer un profil comme impossible. Pour chacune, nous avons noté si la tâche était bien accomplie, les éventuelles erreurs ou variations et le temps passé.

Dans la phase de manipulation libre, les participants ont choisi un thème adapté à leur musée pour lequel ils étaient à l'aise pour créer des parcours (par exemple « les femmes en peinture », et « le portrait » pour A1) et ont été invités à créer un maximum de visites pour un maximum de profils visiteur dans un délai de 10 minutes. Nous leur avons demandé de verbaliser les parcours créés puisque la partie « création de parcours » était simulée par l'appui sur des boutons. L'objectif était de les immerger dans une situation aussi écologique que possible (c'est-à-dire proche d'une situation d'usage réelle) afin de recueillir des informations pertinentes lors de la partie qualitative suivante. Nous souhaitions également observer leur stratégie de création. Cette partie a été enregistrée en vidéo et en audio avec le consentement éclairé des participants.

Après cette phase de manipulation libre, les participants ont été invités à remplir un UEQ (Laugwitz, Held et Schrepp, 2008). Nous leur avons également posé trois questions sur leur expérience : 1) Pourriez-vous nous donner trois points positifs et trois points négatifs du prototype ? 2) Qu'est-ce que vous souhaiteriez améliorer ? et 3) Est-ce que vous vous imaginez utiliser ce prototype dans votre travail quotidien ? L'expérience s'est déroulée dans six cas sur huit sur le lieu de travail des participants (salle de réunion du musée ou atelier d'artiste) et durait deux heures au total. Les participants ont été compensés pour leur temps par un bon d'achat de 20€ dès le début de l'expérience.

### *Dispositif expérimental*

Nous avons utilisé un plan d'expérimentation croisé avec des groupes appareillés (*within-subject*) avec 8 sujets (S) et le dispositif (D) comme variable indépendante  $S_8 \times D_2$  (2 niveaux : MuseoTUI ou MuseoGUI). Afin d'éviter tout biais d'apprentissage, l'ordre de passation des

prototypes était contrebalancé. Tous les participants effectuant les cinq étapes pour les deux niveaux, nous avons créé deux questionnaires équivalents pour les phases de compréhension et de manipulation dirigée. Une étude pilote préliminaire a confirmé l'équivalence de ces questionnaires. Afin d'éviter les interférences, nous avons contrebalancé les questionnaires et les dispositifs en utilisant un carré latin équilibré (Table 6).

Table 6 : Répartition des conditions de l'expérimentation selon les variables (le groupe GA passe le questionnaire A sur MuseoGUI en premier, le groupe TB passe le questionnaire B sur MuseoTUI en premier).

	<i>MuseoGUI</i>		<i>MuseoTUI</i>	
	<i>Questionnaire A</i>	<i>Questionnaire B</i>	<i>Questionnaire A</i>	<i>Questionnaire B</i>
<i>Premier dispositif</i>	GA	GB	TA	TB

Le nombre de réponses incorrectes parmi les questions à choix multiples de la phase de compréhension nous permet d'évaluer la compréhensibilité. L'utilisabilité correspond à la mesure de l'efficacité, de l'efficacéité et de la satisfaction (norme ISO 9241-11). Nous utilisons le temps passé pour réaliser la tâche dans la phase de manipulation dirigée pour mesurer l'efficacité. L'efficacéité est quantifiée par le nombre d'erreurs lors de la phase de manipulation dirigée. Enfin la satisfaction est évaluée à l'aide du questionnaire UEQ. Nous avons également enregistré toutes les actions des participants pour les deux dispositifs pendant la phase de manipulation libre (nombre de visites créées, nombre de profils impossibles, exhaustivité des caractéristiques et raffinement des visites). Les questionnaires qualitatifs nous permettent quant à eux d'étudier l'adéquation de la solution avec un usage professionnel et de connaître les préférences des utilisateurs pour un style d'interaction.

### 3.4.2. Résultats

#### *Compréhensibilité*

Les participants ont répondu correctement à 135 questions sur les 144 de la phase de compréhension. Ce fort taux de bonnes réponses (94%) montre que les utilisateurs comprennent bien le concept de choix de parcours et de visualisation du taux de complétude des combinaisons multicritères, et cela même sans interagir avec un système.

Pour MuseoGUI, le nombre de réponses correctes est de 71 sur 72 (99%) tandis que pour MuseoTUI le rapport est de 64 sur 72 (89%). Trois des neuf réponses incorrectes concernent la dernière question du test, la plus « compliquée » (deux erreurs pour MuseoTUI et une pour MuseoGUI). Celle-ci cherchait à vérifier la compréhension du taux de complétude (de 100%) d'un profil dont cinq valeurs sont sélectionnées (avec une complétude « verte ») et une valeur est encore dans la zone de stockage (affichée en « bleu clair »). La question peut être trouvée en Annexe 3A (Questionnaire observation, Q9 version A et B). Deux des neuf réponses incorrectes (pour MuseoTUI) correspondent au choix de la bonne classification de quatre valeurs, de la plus traitée à la moins traitée. Deux des neuf réponses incorrectes (pour les groupes TA et TB, c'est-à-dire avec MuseoTUI en premier) concernent la signification des figurines non éclairées lorsqu'une autre figurine de la même colonne est sélectionnée (Questionnaire observation, Q4 version A et B, Annexe 3A). Enfin, le même participant a donné deux fois une réponse incorrecte sur la signification de la couleur « bleu clair » dans MuseoTUI. Ce même participant a exprimé pendant la phase qualitative son incompréhension de ce

codage bleu. Il semble donc y avoir une légère tendance vers une meilleure compréhension du concept avec l'interface graphique, mais le concept est bien compris dans son ensemble.

### *Efficiencé et efficacité*

Pendant la phase de manipulation dirigée, nous avons demandé aux participants de créer un parcours pour différents profils ou de déclarer certains profils comme étant impossibles. Les participants ont interprété nos consignes de manières différentes, malgré une modification de la formulation des questions après les pré-tests. Trois participants sur huit ont ajouté des caractéristiques supplémentaires à celles indiquées dans la consigne lorsqu'ils ont exécuté les tâches. Cela ne veut pas dire que la réalisation de la tâche est incorrecte, mais cela fausse la mesure du temps requis pour exécuter la tâche. De plus, comme nous demandions aux participants ne pas replacer les figurines dans la zone de stockage entre les questions (pour tester le raffinement d'un profil par ajout de figurines), certaines consignes demandaient de sélectionner une caractéristique qui était déjà dans la zone de sélection. Nous avons donc dû exclure les résultats des participants ayant ajouté des caractéristiques pour le calcul du temps passé pour les deux styles d'interaction. Pour les cinq participants restants (un de chaque groupe de répartition des conditions d'expérimentation cf. Table 6, plus un du groupe TB), le temps moyen pour MuseoGUI est de 5,4 secondes (écart-type : 3,5) et pour MuseoTUI de 7,1 secondes (écart-type : 3,8). La tâche a pris en moyenne 24 % moins de temps avec la GUI qu'avec la TUI. L'effet du dispositif sur la vitesse était statistiquement significatif ( $F_{1,4} = 13,328$ ,  $p < 0,05$ ) selon un test d'ANOVA sur les données suivant une distribution normale. Cependant, cette analyse de la variance est limitée par le petit nombre de participants restants.

Concernant les différences entre la tâche attendue et celle exécutée pour l'ensemble des participants, 56 écarts ont été notés sur 192 tâches (29%), 36 pour l'interface graphique (38%) et 20 pour l'interface tangible (21%). En ne comptant pas celles liées à l'ajout de caractéristiques comme mentionné ci-dessus, 31 erreurs ont été commises au total (16 %), 16 pour MuseoGUI (17 %) et 15 pour MuseoTUI (16 %). Dans la plupart des cas, les participants oubliaient d'appuyer sur les boutons « créer » ou « impossible » pour terminer la tâche (14 pour MuseoGUI, 12 pour MuseoTUI). L'efficacité des deux dispositifs est donc équivalente.

### *Satisfaction*

Le questionnaire UEQ fournit une évaluation de l'expérience utilisateur selon six mesures : l'attraction, la compréhensibilité, l'efficacité, la contrôlabilité, la stimulation et l'originalité. Les résultats sont « excellents » pour toutes les échelles, tant pour MuseoGUI que pour MuseoTUI (Figure 49). MuseoTUI a obtenu de meilleurs résultats que MuseoGUI pour toutes les mesures à l'exception de l'efficacité (Table 7, Figure 50). Un T-test (Table 8) a montré que les différences étaient statistiquement significatives ( $\alpha = 0,05$ ) pour les mesures de l'attraction, de la stimulation et de l'originalité, et non statistiquement significative pour les qualités pragmatiques (compréhensibilité, efficacité, contrôlabilité).

### Chapitre 3. Création de parcours de visite personnalisés par les professionnels des musées

Table 7 : Tableau comparatif des valeurs moyennes des différentes échelles UEQ pour MuseoGUI et MuseoTUI

Échelle	MuseoGUI					MuseoTUI				
	Moy.	ET	N	Conf.	Intervalle confiance	Moy.	ET	N	Conf.	Intervalle confiance
Attraction	1,98	0,59	8	0,41	1,57 - 2,39	2,58	0,37	8	0,25	2,33 - 2,84
Compréhensibilité	2,16	0,91	8	0,63	1,53 - 2,78	2,24	0,69	8	0,48	1,76 - 2,72
Efficacité	2,41	0,60	8	0,41	1,99 - 2,82	2,16	0,42	8	0,29	1,86 - 2,45
Contrôlabilité	1,81	0,91	8	0,63	1,18 - 2,45	2,13	0,85	8	0,59	1,54 - 2,71
Stimulation	1,91	0,33	8	0,23	1,68 - 2,13	2,41	0,46	8	0,32	2,09 - 2,73
Originalité	1,75	0,76	8	0,52	1,23 - 2,27	2,56	0,32	8	0,22	2,34 - 2,78

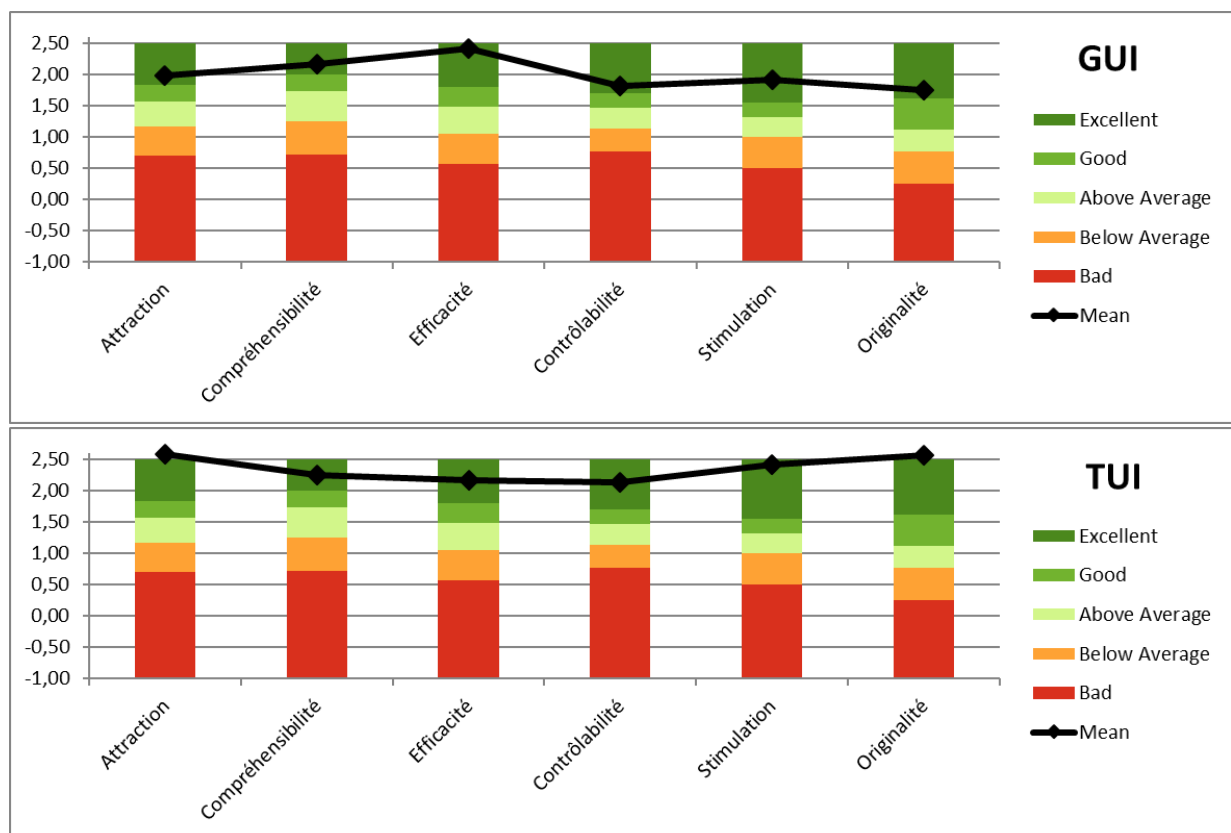


Figure 49 : Résultats du questionnaire UEQ pour MuseoGUI (en haut) et MuseoTUI (en bas).

Table 8 : Résultat des T-Test pour les différences entre MuseoTUI et MuseoGUI selon les échelles UEQ.

Échelle	T-Test	Différence significative
Attraction	0,0313	Oui
Compréhensibilité	0,8392	Non
Efficacité	0,3512	Non
Contrôlabilité	0,4893	Non
Stimulation	0,0270	Oui
Originalité	0,0198	Oui

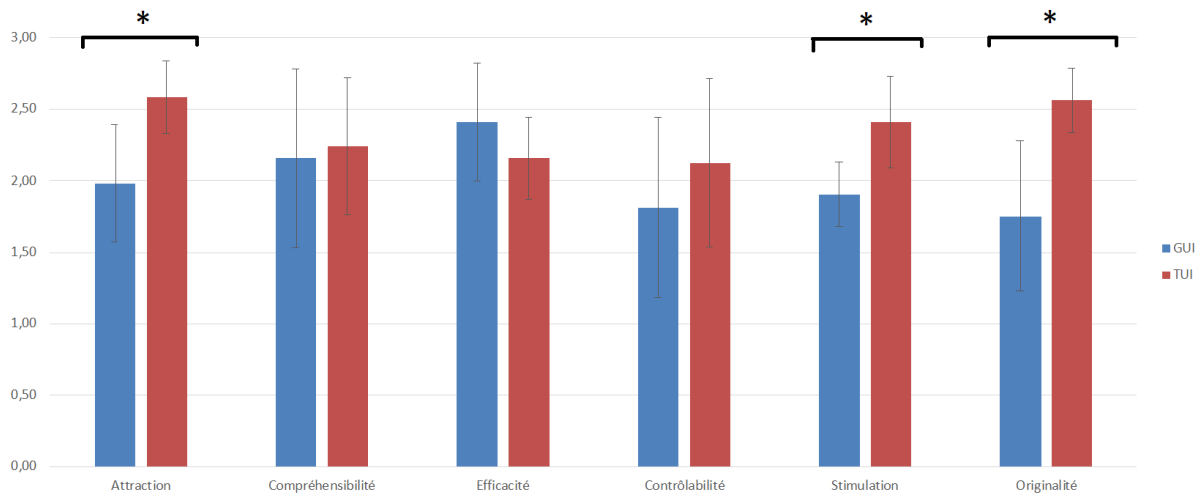


Figure 50 : Comparaison des valeurs moyennes du UEQ pour MuseoGUI (en bleu) et MuseoTUI (en rouge). \* $p < 0,05$ . Les graphiques ont été générés grâce aux outils fournis par <https://www.ueq-online.org/>.

### *Utilité dans le contexte professionnel*

Tous les participants ont souligné l'utilité du concept, tant dans sa forme tactile que tangible. Cela « aide beaucoup à se projeter dans la réalité, ça a correspondu à des réflexions que je peux me faire quand je réfléchis aux publics, quand je pense des visites » (M1). Pour la plupart d'entre eux, le système peut permettre de créer et stocker beaucoup de parcours et de capitaliser sur les visites créées. Il permet également d'être exhaustif et de n'oublier aucun type de visiteur : « C'est bien pour voir où on en est parce qu'il y a des choses qu'on propose plus que d'autres » (R3), « ce qui est intéressant c'est que tu n'oublies pas certains publics » (A2) notamment les personnes en situation de handicap, ou les motivations différentes. D'après les utilisateurs, le concept supporte bien les stratégies de création : « ça permet de systématiser, de rebondir. C'est assez systématique mais ça permet de se lâcher, de rebondir sur des trucs. On voit bien la progression c'est encourageant » (R1) et « ça permet vraiment de bien affiner, étape par étape, c'est très progressif » (M1).

Les participants s'imaginent bien utiliser le concept lors de la création des parcours de visite, pour se concentrer sur les profils des visiteurs et « se poser les bonnes questions » (V1). Plusieurs participants ont utilisé le terme « pense-bête » pour désigner le prototype, voir « pense-bête physique sur l'objectif de la journée en travail collaboratif » (A1) pour MuseoTUI. Plusieurs participants ont également souligné que c'était un « support pour la créativité » (R3) et un « stimulateur d'imagination » (V1), essentiellement pour le prototype tangible. Ils ont également imaginé l'utiliser à d'autres moments de leur activité professionnelle. Au début du projet de médiation – que ce soit pour les ateliers ou les expositions temporaires – il pourrait permettre de cibler les publics : « pour le premier cadrage pour donner les orientations et la stratégie... sélectionner ses trucs, créer des profils types, notamment en outil de priorisation, ça peut être très intéressant » (V1), « On pourrait croiser avec les stats des gens qui viennent le plus et voir là où il y a plus d'attente » (R3). Après la création de plusieurs visites, l'outil peut être utilisé pour faire le bilan. Certains imaginent ainsi l'utiliser pour faire émerger des besoins de formations spécifiques pour les médiateurs (par exemple, apprendre à faire de la médiation pour les personnes avec des déficiences cognitives) ou montrer la nécessité de créer des outils

de médiation supplémentaires à disposition dans l'exposition permanente (par exemple pour correspondre à différentes motivations des visiteurs, comme l'expérimentation).

Plusieurs participants ont apprécié l'outil mais se sont inquiétés du temps nécessaire pour créer tous les parcours correspondants. Deux d'entre eux ont ainsi imaginé une solution où les œuvres pourraient être étiquetées et référencées dans une base de données en fonction des valeurs des caractéristiques et des thèmes. Lorsqu'un profil est sélectionné, les œuvres correspondantes pourraient alors être proposées à l'experte, lui laissant la liberté de composer son récit sur cette base. « *Si l'idée c'est de créer plein de parcours ça peut aider. Dans l'idéal il faudrait le lier avec une base œuvres [...] pré-taguées. Par contre, aller jusqu'à sélectionner des critères et proposer des parcours au hasard avec ces œuvres, non* » (V1). Ce scénario correspond à celui imaginé lors de la conception, même s'il n'a pas été mis en œuvre pendant l'expérimentation, le manque de cette deuxième interface a d'ailleurs été soulevé par les participants.

#### *Préférence entre MuseoTUI et MuseoGUI*

Lorsque nous leur avons demandé de choisir entre les deux dispositifs, cinq participants sur huit ont préféré MuseoTUI. Trois participants ont choisi MuseoGUI, dont deux ont précisé qu'ils préféreraient MuseoTUI pour un travail collaboratif.

Les participants ayant préféré le dispositif tangible ont déclaré que l'incarnation et la manipulation des valeurs des caractéristiques les aident à se projeter sur les visiteurs. « *De les encadrer, de faire un geste j'ai plus l'impression de mettre les choses en relation (...) le geste ne m'empêche pas de me projeter dans les visites, au contraire c'est un support (...) tu mets plus facilement en lien les choses... j'ai envie de voir trois bonhommes avec le casque [montrant les figurines "3-6 personnes" et "13-18 ans"] ça fonctionne sur la tablette mais c'est moins tangible* » (A1). D'autres participants ont déclaré : « *cette matérialité-là apporte quelque chose, vraiment (...) j'arrive plus à me projeter dedans, ça donne corps aux différents éléments* » (A2) ou encore : « *La manipulation c'est très bien pour se rendre compte des choses. Ça permet de saisir une donnée, de la mettre de l'enlever (...) Le côté palpable, le côté avancer/retirer, ça me permet vraiment de voir ça je le fais, ça je l'engage. Ça a un côté partie d'échecs où on engage des trucs* » (M1).

Ces participants ont également trouvé que la manipulation et la tangibilité améliorent la réflexion et la créativité : « *en manipulant ça peut aider à créer* » (R2). L'aspect nouveau et ludique, combiné à la manipulation, permettent notamment de se placer dans une posture créative : « *le fait qu'on a des objets à toucher je trouve que ça stimule, on touche des trucs on doit se lever, faire des mouvements, c'est toujours une histoire de créativité, ça stimule plus qu'une tablette qu'on utilise pour un million de tâches tous les jours (...) ça permet de sortir de ça et dire : je suis dans la sphère créative, je fais autre chose* » (R3), « *clairement je créerais plus avec ça qu'avec un outil numérique [écran], parce que c'est un jeu (...) là je le vois pas comme un outil de travail, alors que si en fait* » (R2). MuseoGUI est ainsi vu comme « *plus scolaire, tu as l'impression de remplir un formulaire. Ce qu'on est en train de faire c'est créer des choses et un outil qui te donne envie, qui a des couleurs des lumières ça te stimule plus que quelque chose qui est plus habituel que tu fais tous les jours sur ton téléphone* » (R3). Ces retours sont à contrebalancer



avec l'effet de nouveauté de l'interaction tangible. En plus de noter les aspects ludiques et agréables, MuseoTUI est également pour eux un outil utile dans leur contexte professionnel : « *Si c'est un outil de médiateur je ne sais pas si l'aspect ludique est ce qui prime en premier, mais malgré tout, ça m'a permis de créer les parcours d'une façon vraiment différente, donc ça marche !* » (A2). L'utilisation du tangible pour la composition des profils et du tactile pour la création du parcours a également paru pertinent à cette médiatrice : « *je serais plus à l'aise avec quelque chose de plus matériel là [pour les profils des visiteurs], et quelque chose de plus virtuel [pour les parcours] : c'est un support d'images* ».

Sept participants sur huit ont souligné l'aspect convivial de MuseoTUI et ont imaginé l'utiliser pour des tâches collaboratives lorsqu'ils travaillent en équipe. En effet l'interface tangible peut permettre à plusieurs médiateurs d'être autour de l'objet : « *faire venir le groupe autour c'est mieux que la tablette* » (A1), « *c'est un outil qui serait sympa que je visualiserais dans le partage, une dynamique de création commune. Pour un temps de travail collectif, une partie créative* » (V2), « *ça peut déclencher une envie de s'y mettre et le côté collectif est intéressant* » (V1), « *et je trouve que pour communiquer avec une autre personne sur le projet, j'arriverais mieux à défendre mon idée ou présenter un parcours aux autres* ». Une médiatrice a également souligné que le tangible favorise la conscience collective : « *avec un dispositif 3D, on peut être dans un bureau plus éloigné, tout le monde voit ce qui se passe* » (R3).

Nous avons observé une petite quantité d'actions épistémiques (non directement utile à la réalisation de la tâche par opposition aux actions *pragmatiques* ; Kirsh et Maglio, 1994) lors de l'utilisation de MuseoTUI, les participants pointant des figurines ou les attrapant sans les soulever pendant qu'ils réfléchissaient (Figure 51). Nous n'avons pas observé d'interactions similaires avec MuseoGUI. Ce point est discuté plus en détails dans la discussion.



Figure 51 : Actions épistémiques de pointage pendant l'expérimentation de MuseoTUI

Trois participants sur huit ont préféré MuseoGUI, notamment car le dispositif est moins encombrant et jugé plus efficace : « *le physique est plus attractif, après de manière très pragmatique, si je me projette dans une application réelle au travail, déjà ça prend de la place, ça prend du temps et c'est une vision moins globale. Donc je pense que pour être dans l'efficacité je favoriserais l'application tablette* » (V3). Une autre participante (R1) a déclaré que MuseoGUI était plus pratique pour une utilisation quotidienne « *j'ai une demi-heure je peux faire quelque chose* » car la tablette est plus facile à sortir et plus rapide à utiliser. Enfin la troisième participante a déclaré que « *professionnellement l'outil tablette paraît plus sérieux, et effectivement j'étais plus concentrée sur mon objectif [...] Professionnellement c'est plus efficient* ».

[...] *Pour la facilité d'usage, n'importe où* » (V1). Les différents niveaux de prototypage des deux dispositifs pourraient nuancer cette différence, car certains participants ont regretté les frottements lors de l'insertion des figurines dans les trous et les problèmes d'encombrement de MuseoTUI. Ils ont également indiqué que MuseoGUI peut permettre des raccourcis qu'ils n'imaginent pas pour une interface tangible, comme par exemple l'échange automatique avec l'item sélectionné, le « *double tap* » pour sélectionner automatiquement ou un bouton « remettre à zéro » qui range toutes les figurines dans la zone de stockage.

### 3.5. Discussion

Selon les préconisations extraites de l'analyse du besoin, nous avons proposé un nouveau concept d'interface combinant la constitution de profils visiteur multicritères et le suivi dynamique de la progression de la création de parcours de visites personnalisés pour ceux-ci. Nous avons instancié ce concept en une interface tangible MuseoTUI et une interface tactile MuseoGUI. L'expérimentation de ces deux prototypes avec des utilisateurs finaux démontre que ce concept est bien compris et accepté par les professionnels des musées, quel que soit le style d'interaction, ce qui valide l'hypothèse H1 (page 88). Ils ont ainsi plébiscité son usage dans leur cadre professionnel pour mieux appréhender les différents types de visiteur et vérifier qu'ils n'oublient personne.

Le codage coloré du taux de complétude semble toutefois plus difficile à comprendre avec les LED de MuseoTUI que sur l'écran de MuseoGUI. Une légende « éclairée » avec des LED plutôt qu'imprimée pourrait faciliter la compréhension des couleurs, le rendu étant très différent selon le support et assez éloigné entre papier et LED. Quel que soit l'ordre de passage, tous les utilisateurs ont indiqué mieux comprendre les couleurs sur le deuxième dispositif. Il semble donc qu'il y ait un effet d'apprentissage sur la compréhension du taux de complétude, ce qui est acceptable pour un outil professionnel mais peut être amélioré. Les participants se sont en effet concentrés sur le grand nombre de couleurs – variable visuelle non quantitative et non ordonnée (Bertin, 1973), et non sur les « valeurs » (au sens de Bertin, la luminosité) des niveaux. Deux solutions sont ici possibles : soit aller vers plus de quantitatif en graduant par exemple la base des figurines (ou le fond des jetons tactiles) et en remplissant la jauge ainsi créée ; soit améliorer la perception de l'ordonnement des valeurs. Les utilisateurs n'ont en effet pas besoin d'avoir une notion précise du taux de complétude, mais plutôt de savoir quelles combinaisons ont été plus ou moins traitées. Une idée peut être de décorréler couleur et luminosité pour créer les niveaux, afin de réduire le nombre de couleurs, et de profiter du caractère ordonné de la variable « valeur » (luminosité). La couleur pourrait ainsi encoder l'état : « à faire » (rouge), « en cours » (orange) et « terminé » (vert). La luminosité pourrait quant à elle servir à distinguer différents niveaux du taux de complétude pour l'état « en cours » (plus ou moins de LED orange allumées pour MuseoTUI, valeur L de plus en plus forte pour les couleurs en TSL sur l'écran de MuseoGUI). Cela simplifierait l'apprentissage des couleurs, tout en permettant d'avoir un feedback régulier et de distinguer quelles combinaisons ont été plus ou moins traitées.

Concernant l'utilisabilité des dispositifs, les participants ont trouvé MuseoTUI plus satisfaisant que MuseoGUI, ce qui valide l'hypothèse H2 (page 88) pour quasiment toutes les échelles du

UEQ (Laugwitz, Held et Schrepp, 2008) et en particulier pour les qualités hédoniques (attractivité, stimulation et nouveauté). Comme énoncé en hypothèse H2, MuseoGUI s'est révélé plus satisfaisant uniquement pour l'efficacité ressentie (UEQ) – même si les résultats pour les qualités pragmatiques ne sont pas statistiquement significatifs – et pour le temps mesuré de réalisation de la tâche (efficacité), même si le petit nombre de tests ne permet pas la généralisation de nos résultats. La comparaison de l'utilisabilité et des performances des interfaces tactiles et tangibles est un sujet largement couvert, mais sans consensus (Zuckerman et Gal-Oz, 2013). Les explications avancées pour une meilleure performance des TUI sont en général le multiplexage spatial versus temporel (Fitzmaurice et Buxton, 1997) et l'interaction à deux mains. Dans notre cas, les deux dispositifs étaient spatialement multiplexés, les deux mains étaient rarement utilisées et MuseoTUI étant plus grand que MuseoGUI, les distances d'interaction étaient plus grandes en tangible. En outre, l'ajout de contraintes de forme sur les trous du plateau de MuseoTUI (paradigme *token+constraint*) a généré des frottements ralentissant l'interaction. Un plateau plus petit avec moins de frottement pourrait ainsi améliorer l'efficacité de l'instanciation tangible. Trois participantes ont ainsi préféré MuseoGUI pour son efficacité et son encombrement limité. Elles ont imaginé plus facilement des raccourcis d'interaction (sélection automatique, échange d'items, remise à zéro) et des fonctionnalités supplémentaires sur la tablette. Toutefois, cette efficacité n'est pas nécessairement la caractéristique la plus recherchée par tous les utilisateurs pour cette tâche professionnelle créative. En effet, plusieurs participants ont déclaré que le temps d'interaction avec les figurines de MuseoTUI leur donnait plus de temps pour réfléchir au parcours qu'ils créaient. Il serait intéressant de comparer ces résultats avec ceux obtenus en testant le dispositif *cross-device* complet (incluant la partie « création de parcours », Figure 34).

Un peu plus de la moitié des participants a préféré MuseoTUI à MuseoGUI pour un usage individuel, ce qui valide l'hypothèse H3 (page 88). Quasiment tous les utilisateurs l'ont préconisé pour une utilisation collaborative, même si ce n'était pas le cas d'usage testé dans ce protocole. Les participants ont indiqué plus de stimulation et de plaisir avec l'instanciation tangible, dont l'aspect ludique et nouveau leur permet de se placer plus facilement dans une « *sphère créative* ». Cela étend les conclusions précédentes de Zuckerman et Gal-Oz (2013) pour la programmation informatique au contexte moins exploré d'une utilisation professionnelle. En outre, les participants ont affirmé que la manipulation tangible les aidait à réfléchir et soutenait leur processus de réflexion. Klemmer, Hartmann et Takayama abordent cet aspect dans la thématique « *thinking through doing* » (2006), la « cognition incarnée » expliquant l'importance du corps et du geste dans l'apprentissage et la réflexion humaine. Les actions épistémiques sont ainsi aussi importantes que les actions *pragmatiques* servant à réaliser la tâche (Kirsh et Maglio, 1994). Ces actions permettent de mettre en place des *stratégies complémentaires* (Kirsh, 1995), comme par exemple cacher ou pointer des pièces avec les doigts lors d'une tâche de comptage. Nous avons observé des actions épistémiques (Figure 51) lors de l'utilisation de MuseoTUI que nous n'avons pas constatées avec MuseoGUI. Ceci peut-être expliqué par la possibilité de réaliser des actions « *out-of-band* » avec les *tokens* tangibles (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005), c'est-à-dire que toucher une figurine n'est pas interprété par le système. Au contraire, l'interaction similaire sur MuseoGUI de toucher un item est une action « *in-band* », c'est-à-dire interprétée par la tablette (début d'un glisser-déposer). La

possibilité de réaliser des actions *out-of-band* en tangible permet donc aux utilisateurs de faire des gestes épistémiques et facilite la mise en place de *stratégies complémentaires* à leur réflexion. Cette hypothèse demande à être confirmée pour notre cas d'usage par une analyse plus poussée des vidéos des expérimentations, en utilisant par exemple le framework de codage ATB qui permet de quantifier les stratégies épistémiques en tangible (Esteves *et al.*, 2015).

Plusieurs participants ont également déclaré que la manipulation tangible les aidait à développer leur imagination et leur créativité. *L'approche multivariée* de Lubart *et al.* (2015) décrit quatre types de facteurs influençant la créativité : *cognitifs, conatifs, émotionnels* et *environnementaux*. L'influence des facteurs cognitifs dans notre cas peut être rapprochée de la discussion précédente sur la réflexion. L'aspect stimulant, « *réjouissant* », et ludique de MuseoTUI rapporté par les participants peut avoir influencé les facteurs émotionnels et le facteur conatif de *motivation intrinsèque* favorisant la créativité. De plus, les participants ont déclaré que les figurines physiques les aidaient à mieux se projeter sur les profils des visiteurs, l'empathie pouvant ainsi jouer un facteur d'influence émotionnelle. Enfin la nouveauté du dispositif peut être reportée comme facteur environnemental, les participants ayant spécifié eux-mêmes que la tablette n'est pas identifiée comme créative car utilisée couramment pour « *un million de tâches tous les jours* », alors que MuseoTUI permet de se placer dans une « *sphère créative* ». L'incarnation des contraintes dans le paradigme token+constraint peut également être avancée comme explication, les contraintes étant considérées comme un guide pour la créativité (Bortolaso, 2012).

Plusieurs participants ont regretté l'absence de la deuxième partie de l'interface *cross-device* de création de parcours de visite qui était remplacée par deux boutons et une explicitation orale la simulant. Ils ont en effet besoin de la liste des œuvres du musée et de l'historique de création de parcours afin de s'acquitter pleinement de la tâche demandée. Il serait intéressant de comparer ces résultats avec ceux d'une expérimentation avec le prototype complet. Cela nous permettrait de vérifier que la répartition entre les deux dispositifs est pertinente pour les utilisateurs et d'observer les allers-retours entre constitution du profil et création du parcours. Nous souhaiterions également vérifier si cela impacte les préférences entre MuseoTUI et MuseoGUI, notamment les bénéfices identifiés de MuseoTUI comme support à la réflexion, à la création et à la projection sur les profils des visiteurs. Comme évoqué par les médiateurs culturels, leur travail de création de parcours peut parfois être réalisé en équipe, il serait donc également intéressant d'évaluer MuseoTUI dans un scénario d'usage collaboratif. Enfin, ces conclusions restent à généraliser pour un plus grand nombre d'utilisateurs.

### 3.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les besoins et les attentes des professionnels des musées pour la création de parcours de visite personnalisés. Des entretiens semi-directifs avec quatre professionnels du service des publics de trois institutions culturelles nous ont permis d'identifier que les visites sont actuellement thématiques ou profilées mais qu'elles ne sont pas véritablement personnalisées. Les professionnels désirent ainsi proposer des visites « à la carte » disponibles à tout moment, en adaptant les parcours en fonction des caractéristiques

et des envies des visiteurs au moment de leur visite. Pour répondre à la question Q1 (page 45), nous avons identifié un premier ensemble de six caractéristiques de personnalisation : nombre de personnes dans le groupe, âge, temps disponible, humeur, situation de handicap et niveau d'expertise, auxquelles il faut ajouter le thème de la visite. Ces caractéristiques doivent ensuite être combinées pour tenir compte de la variété des profils des visiteurs : un couple d'adultes experts ayant une heure pour approfondir le musée ne visitera pas de la même manière qu'une grand-mère et son petit-fils de 6 ans désirant expérimenter pendant une après-midi.

Deux observations d'un exercice prospectif de création de parcours de visite multicritères nous ont permis d'extraire les tâches, les contraintes et les préconisations de conception pour un outil d'aide à la création de tels parcours personnalisés. Pour répondre à la question Q2, nous avons ainsi identifié que la tâche la plus complexe pour les professionnels n'est pas de créer le parcours en lui-même mais de se projeter sur les différents profils visiteur et de suivre la progression de la tâche de création afin de vérifier qu'ils n'oublient personne. Un outil leur permettant d'explorer cet espace de conception multidimensionnel, constitué des combinaisons de caractéristiques visiteur, doit ainsi supporter différentes stratégies de création de parcours et permettre la collaboration et la manipulation directe.

Plusieurs itérations de conception nous ont permis de faire émerger un nouveau concept d'interface permettant d'associer le choix des caractéristiques visiteur constituant un profil et le suivi dynamique de l'avancement de la création des parcours pour chaque combinaison. Pour répondre à la question Q3, nous avons instancié ce concept selon deux modes d'interaction : MuseoTUI, un prototype tangible de type token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) et MuseoGUI, son équivalent sur tablette tactile. Le concept et ses deux instanciations ont été testés avec huit participants de quatre institutions culturelles. Nous avons démontré expérimentalement que tous les experts ont bien compris le concept et validé son utilité dans leur contexte professionnel. Cinq professionnels sur huit ont préféré MuseoTUI à la solution tactile, et les questionnaires standardisés ont montré une plus grande satisfaction pour le tangible. Pour répondre à la question Q4, Les participants ont déclaré que l'incarnation et la manipulation des caractéristiques des visiteurs améliorent la projection sur les profils des visiteurs et favorisent la création et la réflexion. Sept participants sur huit ont de plus plébiscité le prototype tangible pour un usage collaboratif. Dans de futurs travaux, MuseoTUI pourrait ainsi être évalué dans un scénario de création de parcours de visite à plusieurs. Les deux prototypes doivent également être testés en association avec la partie de création de parcours.

Ce travail prolonge l'état de l'art actuel sur les outils d'édition pour les professionnels des musées en leur permettant de se focaliser sur la diversité des publics pour lesquels créer des visites personnalisées. Il pourrait être étendu à d'autres domaines où des personas sont utilisés afin d'affiner leur définition à plus de valeurs et suivre la conception pour ceux-ci. Notre concept pourrait également être utile dans les cas où des combinaisons multicritères sont utilisées, comme par exemple les expérimentations en « plan factoriel » (où plusieurs variables indépendantes doivent être croisées), des gestions de configuration logiciel avec des croisements d'options différentes, des tests d'interface avec couverture combinatoire des entrées, etc. Pour ces cas d'usage, la projection sur la combinaison de caractéristiques choisie et la créativité n'étant pas nécessaires, MuseoGUI serait potentiellement plus adapté.

# Chapitre 4

---

Choix d'un parcours de visite personnalisé par  
les visiteurs



Léo Caillard – *Hipster in Stone 1*, 2012  
<https://www.leocaillard.com/artworks.html>

4. Choix d'un parcours de visite personnalisé par les visiteurs .....	103
4.1. Analyse des besoins .....	104
4.1.1. Entretiens semi-directifs .....	104
4.1.2. Questionnaires fermés .....	106
4.1.3. Directives de conception et recommandations.....	108
4.2. Conception d'un outil d'aide au choix de parcours de visite personnalisés .....	109
4.2.1. Choix de caractéristiques individuelles ou collectives.....	110
4.2.2. Construction du profil de visite.....	117
4.3. Développement de Build Your Own Hercules.....	121
4.4. Évaluation de Build Your Own Hercules.....	125
4.5. Discussion.....	127
4.6. Conclusion .....	129

Publications associées :

Stéphanie Rey, Célia Picard, Yanis Fatmi, Fanny Franco, Sarah Guilbert, Jérémie Manéré, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture, and Anke M. Brock. 2020. Build Your Own Hercules: Helping Visitors Personalize their Museum Experience. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '20)*. ACM, New York, NY, USA, 495–502. DOI: <https://doi.org/10.1145/3374920.3374978>

Stéphanie Rey, Célia Picard, Yanis Fatmi, Fanny Franco, Sarah Guilbert, Jérémie Manéré, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture, Anke Brock. 2019. Build Your Own Hercules : une interface tangible de choix de parcours de visites personnalisées au musée. In *31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (Prix de la meilleure démonstration)*. AFIHM, Grenoble, France.

Stéphanie Rey, Pierre Mauriéras, Célia Picard, Anke Brock. 2018. Totem de Personnalisation : Conception d'une Interface Tangible pour le Choix de Parcours de Visite dans les Musées. In *30e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (Prix du meilleur Travail en Cours)*. AFIHM, Brest, France. pp.219-226.

## 4. Choix d'un parcours de visite personnalisé par les visiteurs

Une fois les parcours personnalisés créés par les professionnels du musée, l'enjeu pour les visiteurs est de choisir le parcours le plus adapté à leurs profils et leurs envies parmi cette grande quantité de propositions lors de leur visite au musée. Dans ce chapitre nous étudions la question de la personnalisation des parcours de visite du point de vue des visiteurs.

Afin que les visiteurs aient pleinement conscience de la personnalisation (Fantoni, 2009) et qu'ils aient le contrôle sur les informations qu'ils souhaitent ou non fournir, nous proposons de leur permettre de choisir leur visite à travers les caractéristiques de personnalisation utilisées par les médiateurs pour créer les parcours. Proposer aux visiteurs de composer eux-mêmes leur profil de visite, en choisissant parmi de nombreuses caractéristiques de personnalisation prenant en compte les groupes, est un enjeu peu traité dans la littérature. Les projets existants se basent plutôt sur des personas individuels (Roussou *et al.*, 2013) ou sur un faible nombre de caractéristiques comme le thème et la localisation (Petrelli et O'Brien, 2018). Nous présentons donc dans ce chapitre la conception d'outils permettant aux visiteurs de choisir les valeurs leur correspondant pour chaque caractéristique de visite identifiée par les médiateurs, dans le but de leur proposer les parcours de visite personnalisés les plus adaptés à leur profil. Nous nous interrogeons plus particulièrement sur l'apport des interactions tangibles pour aider les visiteurs à constituer leur profil, de manière collaborative et conviviale. Les TUI ont le potentiel pour relever ce défi, car elles favorisent la collaboration (Shaer et Hornecker, 2010) et aident à promouvoir l'engagement et la participation du public (Golsteijn *et al.*, 2014). Comme dans la partie précédente, nous suivons une méthode de conception itérative et centrée utilisateur, appliquée ici aux visiteurs du musée (Figure 52, orange). Ce chapitre décrit l'analyse des besoins des visiteurs, la conception de deux prototypes basse-fidélité, ainsi que l'implémentation et l'expérimentation pilote d'un prototype haute-fidélité menés lors de deux projets étudiants (Mauriéras, 2018 ; Fatmi *et al.*, 2019).

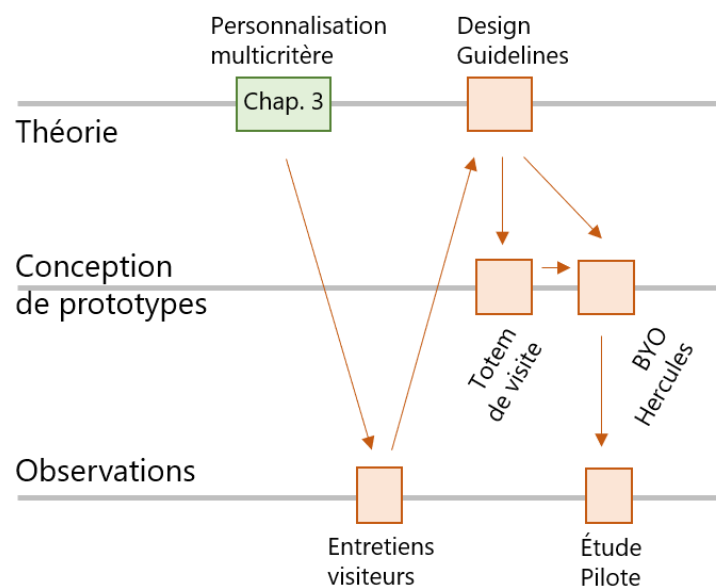


Figure 52 : Présentation des travaux du chapitre 4 selon le modèle de triangulation de Mackay et Fayard (1997).



Dans ce chapitre, notre objectif est de répondre aux questions de recherche suivantes :

Q1 : Quelles sont les envies de personnalisation du point de vue des visiteurs ? Selon quelles caractéristiques les visiteurs souhaitent-ils adapter leur visite au musée et quelles sont les différences avec le point de vue des médiateurs ?

Q2 : Quelles sont les préconisations de conception et les contraintes d'un outil d'aide au choix de parcours de visite personnalisés pour les visiteurs d'un musée ?

Q3 : Quels sont les apports et les limitations des interactions tangibles pour aider les visiteurs à choisir un parcours de visite personnalisé lorsqu'ils arrivent au musée ?

### 4.1. Analyse des besoins

#### 4.1.1. Entretiens semi-directifs

Des entretiens semi-directifs auprès des visiteurs ont été menés au Musée Saint-Raymond un premier dimanche du mois où la visite est gratuite, afin de toucher un maximum de visiteurs. Cela nous a également permis d'avoir accès à des visiteurs venant peu au musée en temps normal, ce qui constitue le public cible que le musée souhaite inciter à revenir à travers la personnalisation des visites. À la demande du musée, les visiteurs ont été abordés après leur visite pour ne pas perturber leur expérience. Ils ont ainsi pu nous faire des retours spécifiques quant à leur expérience au musée Saint-Raymond. Les entretiens se composaient d'une série de questions génériques sur la composition de leur groupe et leur expérience de visite ce jour-là. Une deuxième série de questions portait sur leurs désirs en matière de guidage, de personnalisation et de choix de visite (Annexe 4A). Au total, 37 visiteurs répartis en 13 groupes ont été interviewés afin de recueillir des retours qualitatifs sur leurs souhaits en matière de visite et de personnalisation.

#### *Typologie des visiteurs*

L'âge moyen des participants était de 32 ans (écart-type : 15 ans), dont un enfant, trois adolescents (13 à 18 ans), 12 jeunes adultes (19 à 25 ans) et 21 adultes (26 à 65 ans). 57% des visiteurs interviewés venaient de Toulouse et 40% de l'étranger (Australie, Amérique, Canada, Finlande). Parmi les participants, seul un visiteur était venu seul au musée, cinq groupes étaient des amis (entre deux et huit personnes), trois groupes des familles (entre deux et six personnes) et quatre groupes étaient des couples. Dans un des cas, le visiteur interrogé s'était désolidarisé du groupe d'amis avec lequel il était venu et a parcouru le musée plus rapidement en se concentrant sur un type d'objet (les maquettes).

#### *Expériences de visite*

Deux tiers des visiteurs interrogés ont déclaré avoir suivi le parcours de visite tel qu'indiqué à l'accueil (commencer par le deuxième étage pour finir au sous-sol) et la signalétique. Les autres visiteurs ont parcouru le musée au hasard ou en suivant les objets qui les intéressaient le plus. Ces trois types de parcours déclarés recoupent les profils de visite décrits par Levasseur et Veron (Levasseur et Veron, 1983) : la *fourmi* qui suit le parcours établi, le *papillon* qui parcourt en zig-zag et la *sauterelle* qui passe d'objet d'intérêt en objet d'intérêt. Aucun visiteur n'a déclaré suivre un parcours de type *poisson*, c'est-à-dire un passage « entre deux eaux » en

regardant de loin très rapidement. Nous pouvons émettre plusieurs hypothèses expliquant ce constat. Premièrement, le type de recueil des besoins a sûrement limité ce genre de réponse, il est en effet difficile de déclarer avoir « juste survolé » la visite lors d'un entretien en face à face. Deuxièmement, ce type de visiteur n'a peut-être pas accepté de répondre aux questions. Pour l'analyse des activités des visiteurs, telles que leur déambulation dans le musée, une observation comme effectuée par Levasseur et Veron est plus pertinente qu'un entretien. Notre analyse se concentre sur les envies des visiteurs en matière de personnalisation plutôt que sur l'activité de visite en elle-même, ce qui justifie notre choix de méthode.

Les visiteurs interrogés sont restés en moyenne 1h19 dans le musée (écart-type : 26 minutes), avec une différence géographique notable : les toulousains sont restés en moyenne 01h01 (écart-type de 12 minutes) alors que les non-toulousains sont restés 01h48 en moyenne (écart-type de 16 minutes). Une explication possible est que les non-toulousains n'ont pas la possibilité de revenir et veulent donc « tout voir » du musée en une visite. Il est pourtant à noter que pour la plupart des toulousains (au moins six groupes sur neuf) il s'agissait d'une première visite au musée.

### *Choix d'un parcours de visite personnalisé*

Tous les visiteurs interrogés se sont déclarés intéressés par le choix de parcours de visite personnalisés. Les interviews ont fait ressortir que les visiteurs souhaitent avoir le choix entre plusieurs propositions (92%) et que la majorité (54%) souhaiterait avoir deux à trois propositions, filtrées selon leurs envies. Les entretiens ont également fait ressortir qu'une majorité souhaiterait passer au maximum cinq minutes sur l'outil d'aide au choix (38% pour 5 minutes, 23% entre 2 et 4 minutes, 15% moins d'une minute). Ils ont soulevé le problème de la double file d'attente qui pourrait se former : une première à la caisse pour acheter son billet et une deuxième devant l'interface pour choisir son parcours de visite. Le temps d'utilisation du dispositif de choix de parcours est donc un critère de conception important.

### *Caractéristiques de personnalisation*

Nous avons également extrait des entretiens la liste des caractéristiques de personnalisation des visites selon les visiteurs. Ces caractéristiques sont présentées dans la Table 9 (deuxième colonne), en regard de celles extraites des entretiens avec les médiateurs (cf. Chapitre 3). Ces caractéristiques correspondent pour la plupart à celles proposées par les professionnels des musées (Table 9, première colonne). Le nombre de personnes dans le groupe n'a pas été évoqué par les visiteurs. Il s'agit en effet plutôt d'une contrainte technique pour les professionnels du musée qui se préoccupent de la bonne visibilité des petits objets exposés ou de la surpopulation des petits espaces. Elle leur a également été utile pour adapter le type de discours et proposer des débats ou des jeux à plusieurs. Plusieurs visiteurs venant de l'étranger ont proposé la langue comme caractéristique de personnalisation pour les commentaires. Nous avons interrogé la responsable des publics du musée Saint-Raymond sur cette proposition, et elle nous a indiqué que plusieurs langues devaient bien sûr être disponibles mais que cela ne changeait ni le parcours, ni le contenu traduit. Selon elle, les médiateurs ne l'ont pas évoqué car cela ne modifie par leur travail de conception de parcours, la traduction des contenus *a posteriori* est habituelle. C'est évidemment une option à proposer

pour les visiteurs sur l'interface d'aide au choix de parcours de visite mais pas une caractéristique.

Table 9 : Caractéristiques de personnalisation de la visite selon les médiateurs et selon les visiteurs

<i>Médiateurs</i>	<i>Visiteurs</i>
Temps disponible	Durée de la visite
Expertise	Niveau des explications
Âge	Enfants, adolescents, adultes
Situation de handicap	Situation de mobilité
	Langue
Nombre de visiteurs	
Thème de la visite	Goûts, centre d'intérêt, type d'objets, thème, période historique
Motivation	Interactivité, aspect ludique

#### 4.1.2. Questionnaires fermés

Les retours des entretiens semi-directifs ont été affinés avec un plus grand nombre de visiteurs grâce à un questionnaire (réalisé avec Qualtrics) mis en ligne pendant neuf jours et partagé par les moyens de communication numérique du musée (courriel d'information, Facebook, Twitter). Le questionnaire était composé de trois parties : typologie des visiteurs, habitudes de visite au musée Saint-Raymond et besoins et attentes pour la personnalisation des visites (Annexe 4B). Le questionnaire en ligne a permis de récolter 133 réponses pour une analyse qualitative (pour les réponses libres) et quantitative (pour les questions à choix multiples et échelles de Likert).

##### *Typologie des visiteurs*

La majorité des participants habitait en région toulousaine (55% dont 46% à Toulouse même), 40% ailleurs en France et 4% à l'étranger. Seulement 61% des participants avaient déjà visité le musée, avec une majorité de toulousains (62%). Une grande majorité des personnes n'ayant pas visité le musée venaient du reste de la France (67%). Parmi les personnes ayant déclaré être déjà venues au musée, quasiment la moitié (44%) l'ont fait plus de cinq fois et 37% entre deux et quatre fois. L'échantillon de participants internet est biaisé par le mode de transmission du questionnaire (personnes s'étant abonnées pour suivre le musée numériquement) : une population locale très fidèle au musée qui le visite de nombreuses fois et une population nationale qui le suit essentiellement virtuellement. La communication numérique du musée est en effet très dynamique et originale et la tenue de Museomix<sup>19</sup> (un hackathon culturel de trois jours) au musée en 2016 a amené des participants de la France entière qui ont continué à suivre le musée sur les réseaux sociaux. Nous pouvons toutefois en tirer des enseignements pour mieux comprendre ce qui peut rendre le musée attractif et inciter à le revisiter.

<sup>19</sup> Museomix Midi-Pyrénées : <https://www.museomix.org/community/museomix-midi-py/> (03/03/2020)

Concernant la composition des groupes, seulement 24% des participants ayant déjà visité le musée étaient seuls lors de leur dernière visite, 39% ont visité à deux et 31% en groupe de plus de deux personnes (6% ne se souvenaient pas). Ceci confirme la prédominance de la visite en groupe observée lors des entretiens. Nous avons également interrogé les visiteurs sur leur âge et l'âge des personnes composant leur groupe lors de leur dernière visite. 5% des personnes du groupe étaient des enfants (de 1 à 12 ans), 6% des adolescents (13 à 18 ans), 24% de jeunes adultes (19 à 25 ans) et la majorité des adultes entre 26 et 90 ans (65%).

### *Expériences de visite*

La grande majorité des personnes ayant répondu par internet a visité plusieurs fois le musée (80 %). La raison qui revient le plus pour la revisite est l'organisation d'événements ponctuels : expositions temporaires, nuit des musées, Museomix, etc. (52%). Viennent ensuite l'envie et le plaisir d'approfondir la connaissance de l'exposition permanente, de l'aborder sous des angles différents et de revoir des œuvres plus précisément (33%). Enfin les visiteurs déclarent revenir pour accompagner famille et amis de passage (15%).

### *Choix d'un parcours de visite personnalisé*

La plupart des personnes interrogées s'est déclarée intéressée pour suivre un parcours de visite personnalisé au musée : 78% ont donné une note entre 5 et 7 sur une échelle de Likert (1 correspondant à « pas du tout intéressé » et 7 à « très intéressé »). Plus de la moitié des participants ont déclaré qu'ils le suivraient par curiosité (58%) et 31% pour voir toutes les facettes du musée, les visiteurs restants ont déclaré préférer se promener librement. En majorité les visiteurs ont déclaré vouloir passer entre une et cinq minutes à choisir leur parcours (65%), ce qui confirme les exigences exprimées par les visiteurs lors des entretiens.

Nous avons également demandé aux participants s'ils seraient d'accord pour renseigner des informations personnelles (âge, envies, habitudes) afin de personnaliser le parcours dans le musée (sachant que ces informations ne seront pas conservées ni utilisées sauf à des fins statistiques anonymes). Les visiteurs ont déclaré pour une large majorité qu'ils étaient prêts à communiquer leurs données au musée, avec 82% de réponses entre 5 et 7 sur une échelle de Likert (1 correspondant à « je ne veux entrer aucune donnée » et 7 à « entrer des données ne me dérange pas »). Le musée est en effet une institution à but non lucratif jouissant d'une bonne réputation, les visiteurs semblent donc prêts à accorder leur confiance quant à l'utilisation de leurs données personnelles.

### *Caractéristiques de personnalisation*

Nous avons demandé aux participants de classer les caractéristiques de personnalisation extraites des entretiens semi-directifs selon leur importance, en séparant d'un côté les caractéristiques des visiteurs et de l'autre les caractéristiques relatives au musée (thème, chronologie, type d'œuvre, topographie, nouveautés, type d'objet). Parmi les caractéristiques des visiteurs, le temps dont ils disposent (32%) et le niveau d'expertise (23%) sont les plus importants pour eux, viennent ensuite l'âge (16%) et la situation de handicap (15%). Enfin la langue (8%) et le nombre de personnes (5%) sont déclarés comme moins importants.

Concernant les caractéristiques du musée, le thème est de loin le plus important (56%), avec ensuite la période historique (21%), le type d'œuvre (9%) et l'aspect ludique (8%).

### 4.1.3. Directives de conception et recommandations

Les entretiens et questionnaires avec les visiteurs ont confirmé leur intérêt pour des parcours de visite personnalisés, avec une large majorité de visiteurs déclarant avoir envie de les suivre. L'analyse de leurs retours nous a également permis d'identifier les raisons qui poussent les visiteurs à revenir plusieurs fois au musée. La première raison invoquée est l'organisation d'évènements ponctuels, mais celle-ci est très coûteuse pour les musées, et ne peut pas être mise en place très souvent par les petites structures. L'idée du parcours de visite personnalisé est de donner à la visite de l'exposition permanente cette impression de nouveauté et de renouvellement à chaque visite. Cela permet également de rejoindre les autres raisons données par les visiteurs pour revisiter le musée. Ils peuvent approfondir leurs connaissances et voir la collection sous un autre jour en choisissant des niveaux d'expertises ou des thèmes différents. Ils peuvent également faire découvrir le musée à d'autres personnes, amis ou famille en choisissant une composition de groupe adaptée à chaque fois. La typologie des visiteurs interrogés a également confirmé l'importance de traiter les groupes (famille, amis) de visiteurs, ceux-ci étant très largement représentés dans les études.

En suivant la méthode proposée par Kim, Coutrix, et Roudaut (2016), nous proposons une liste de 12 préconisations de conception extraites de l'analyse du besoin présentée ci-dessus, ainsi que de la littérature. Les propriétés présentées visent plus particulièrement à répondre au besoin de *rapidité* exprimé par les visiteurs (moins de cinq minutes d'utilisation, pas de double file d'attente), à la diversité des *groupes de visiteurs* (visite essentiellement en groupe avec diverses typologies) et enfin aux spécificités du musée en tant que *lieu public*.

Préconisations de rapidité :

- *E1. Utilisable en parallèle* : l'interface doit permettre à plusieurs groupes de choisir leur visite en même temps.
- *E2. Utilisable sans la présence de tous* : tous les membres du groupe n'ont pas besoin d'être présents lors du choix pour que celui-ci puisse être fait.
- *E3. Intuitive* : l'interface doit être intuitive au sens où elle ne nécessite pas d'apprentissage avant son utilisation (Bullinger, Ziegler et Bauer, 2002).
- *E4. Réversible* : l'interface doit permettre aux visiteurs de revenir simplement sur leur choix sans devoir tout recommencer à zéro (Shneiderman, 1997).

Préconisations liées aux groupes d'utilisateurs :

- *E5. Collaborative* : l'interface doit favoriser la collaboration au sein du groupe.
- *E6. Favorisant la négociation* : l'interface doit permettre la négociation au sein du groupe si les individus n'ont pas les mêmes envies.
- *E7. Permettant des sous-groupes* : l'interface doit permettre à un groupe de se séparer en plusieurs sous-groupes d'intérêts communs.
- *E8. Tout public* : les groupes pouvant être familiaux, l'interface doit être accessible pour toutes les tranches d'âges

Préconisations liées au lieu public :

- *E9. Attractive* : l'interface doit attirer l'attention des visiteurs et encourager la participation (Golsteijn *et al.*, 2014).
- *E10. Engageante* : l'interface doit favoriser l'engagement des visiteurs pour les inciter à revenir utiliser le système (Hofmann *et al.*, 2016)
- *E11. Respecte l'intimité* : l'interface doit permettre aux visiteurs de rentrer leurs informations sans qu'elles soient visibles par les autres visiteurs
- *E12. Favorisant l'après-visite* : l'interface doit favoriser la continuation de l'expérience une fois que les visiteurs ont quitté le musée (e.g. les cartes postales résumant la visite du projet meSch ; Petrelli *et al.*, 2017).

L'analyse des entretiens nous a également permis de comparer les caractéristiques de personnalisation du point de vue des visiteurs à celles proposées par les spécialistes du service des publics. Nous avons par exemple pu constater qu'un groupe avec un même nombre de personnes pouvait correspondre à plusieurs cas différents : couple, amis ou famille, et que le nombre de personnes n'était pas une caractéristique de personnalisation pertinente selon les visiteurs. Nous proposons donc de remplacer le nombre de personnes par la notion de « composition du groupe » dans les caractéristiques présentées aux visiteurs. La Table 10 présente la sélection finale des caractéristiques de personnalisation obtenue en croisant les résultats des études auprès des deux parties prenantes (visiteurs et médiateurs) et en les affinant avec la responsable du service des publics du musée Saint-Raymond en fonction des possibilités du musée. Le choix de la langue ou d'une situation de handicap a ainsi été jugé trop compliqué à mettre en place pour une première expérimentation au musée.

Table 10 : Caractéristiques de personnalisation et valeurs proposées

<i>Caractéristiques de visite</i>	<i>Valeurs</i>
Composition du groupe	Adulte seul, couple, groupe d'adultes, famille
Âge	3 à 6 ans, 7 à 12 ans, 13 à 18 ans, plus de 18 ans
Temps disponible	30 minutes, 1 heure, 2 heures, 3 heures, plus de 3 heures
Motivation	S'amuser, apprendre, découvrir
Expertise	Débutant, intermédiaire, expert
Thème de la visite	Mythologie, héros, animaux fantastiques, etc.

## 4.2. Conception d'un outil d'aide au choix de parcours de visite personnalisés

En nous appuyant sur l'analyse des besoins présentée ci-dessus, nous avons conçu de manière itérative et participative une solution d'aide au choix de parcours de visite personnalisés pour les visiteurs.

Nous présentons ici plusieurs étapes de ce raffinement. Premièrement, nous décrivons la conception du « *Totem de personnalisation* » qui permet de choisir les caractéristiques de personnalisation, qu'elles soient individuelles ou collectives. Deuxièmement, ce prototype a été

raffiné lors d'une itération de conception, où le profil des visiteurs peut être composé grâce au prototype « *Build your own Hercules* ».

### 4.2.1. Choix de caractéristiques individuelles ou collectives

Dans cette première étape de conception, nous nous inspirons de l'approche proposée par Kim *et al.* (2016) : 1) création d'une liste d'exigences à partir de l'analyse du besoin (voir section précédente), 2) génération d'idées, 3) analyse systématique des idées par rapport aux exigences et 4) choix de la meilleure approche pour une future mise en œuvre. Cette première étape a été réalisée avec un nombre restreint de caractéristiques. Nous nous sommes concentrés sur les trois caractéristiques les plus importantes selon les visiteurs : la composition du groupe (nombre et âge) et la durée souhaitée de la visite. Nous nous focalisons également sur la première phase, celle du choix des caractéristiques des visiteurs, le choix du parcours en lui-même étant traité dans un second temps. Dans cette première itération, nous nous sommes donnés pour objectif de concevoir quel que soit le type de musée, avec une adaptation ou une personnalisation potentielle de la solution par chaque musée lors de son instanciation.

#### *Brainstorming et prototypage vidéo*

Nous avons organisé une première séance de brainstorming et de prototypage vidéo pour stimuler la génération d'idées (Mackay et Fayard, 1999). Afin de permettre aux participants de se projeter sur les besoins et caractéristiques des visiteurs, nous avons présenté trois scénarios de visite tirés des observations auxquels nous avons ajouté des contraintes illustrant certaines des 12 préconisations : Scénario 1. Un adulte et un jeune enfant qui n'ont pas de limite de temps pour leur visite ; Scénario 2. Un couple de touristes qui ne souhaitent pas rester le même temps dans l'exposition permanente ; Scénario 3. Une famille de deux adultes avec un enfant en bas âge et deux adolescents qui veulent faire la visite de leur côté. Ces scénarios permettaient également d'incarner simplement certaines préconisations, notamment *tout public* (E8), *favorisant la négociation* (E6) et *permettant des sous-groupes* (E7). Sept personnes (étudiants en IHM et chercheurs du laboratoire LII de l'ENAC) ont participé à cette séance pendant deux heures. La moitié du temps était consacrée au brainstorming et au regroupement des idées, pour terminer par un vote pour les prototypes préférés. La deuxième partie du temps permettait aux participants séparés en deux demi-groupes de prototyper et réaliser une vidéo des deux solutions préférées. Au total, la séance a permis de générer 44 idées pertinentes et deux prototypes vidéo.

#### *Création et comparaison des storyboards*

Après regroupement des 44 idées issues du brainstorming, nous avons réalisé une première sélection et un recoupement des idées afin de proposer cinq solutions de conception. Des extraits des cinq storyboards résultants sont présentés sur la Figure 53 et expliqués succinctement dans la suite. Les storyboards St2 et St3 reprennent les prototypes vidéo de la séance de brainstorming, en ne prenant en compte pour cette première étape que la typologie du groupe, le temps disponible pour la visite et l'âge des visiteurs.

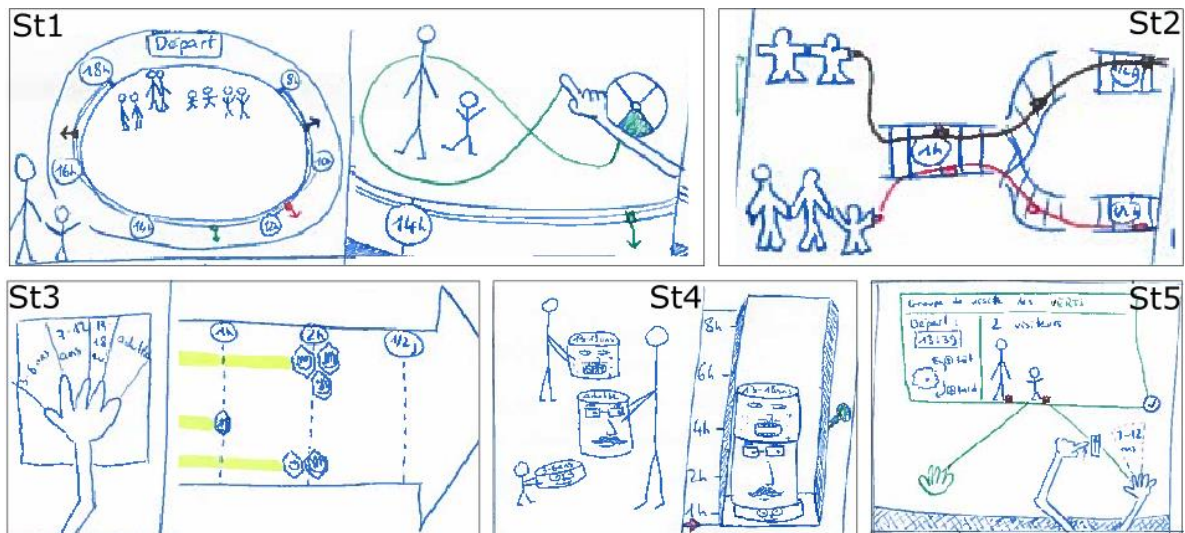


Figure 53 : Extraits des cinq storyboards issus du premier brainstorming. St1) Figurines, St2) Train, St3) Mains, St4) Totem, St5) Cadran. Extrait de (Maurières, 2018).

Dans le storyboard « figurines » (St1), les visiteurs déplacent des figurines de différentes tailles (correspondant à différents âges) sur une table tactile pour former des groupes qu'ils entourent d'une même couleur sur l'écran avec le doigt. L'heure de départ est indiquée en déplaçant la flèche de couleur correspondante sur le cadran périphérique. Pour le scénario « trains » (St2), les visiteurs aimantent entre eux des figurines de différentes tailles (représentant différents âges) afin de former des "trains" ou groupes de visiteurs. Ils placent ensuite devant chaque groupe des rails dont la longueur représente la durée de la visite. Il leur est possible de placer des échangeurs afin de se séparer et se rejoindre plus tard dans la visite. Le storyboard « main » (St3) permet à chaque visiteur de scanner sa main et d'indiquer son âge sur un plateau de sable avec projection (inspiré de *Illuminating Clay* ; Piper, Ratti et Ishii, 2002). Une empreinte de la main en 3D est fabriquée à partir du sable. Les visiteurs posent alors leurs empreintes sur une flèche temporelle pour indiquer la durée de visite souhaitée. Plusieurs empreintes peuvent être assemblées pour former un groupe souhaitant visiter ensemble. Dans le scénario « totem » (St4), les visiteurs choisissent des blocs « tête » de différentes tailles correspondant à différents âges. Ils les empilent ensuite sur un socle afin de former un totem. Autour du socle les visiteurs peuvent ensuite déplacer une flèche sur un cadran afin d'indiquer l'heure de sortie du musée souhaitée. Un mini-totem correspondant à leur groupe est fabriqué en impression 3D afin de les accompagner dans leur visite. Enfin pour le storyboard « cadran » (St5), les visiteurs sont placés devant une table tactile circulaire avec un cadran indiquant des heures de départ. Chaque visiteur pose sa main sur l'heure de départ souhaitée et sélectionne son âge. Il peut alors créer un groupe ou s'ajouter à un groupe existant.

Nous avons ensuite évalué ces cinq solutions par rapport à la liste de préconisations extraite de l'analyse des besoins (Table 11). Pour chaque storyboard, nous avons compté un point pour une conformité totale, zéro point pour une conformité partielle et moins un point pour une non-conformité. Les scores totaux ainsi calculés (dernière ligne Table 11) nous ont permis d'éliminer les trois solutions correspondant le moins à notre analyse du besoin, les storyboards St1 (Figurines), St3 (Mains) et St5 (Cadran), notamment selon les préconisations : *utilisable sans la présence de tous (E2)* et *tout public (E8)*. Cette évaluation nous a également permis de noter



qu'aucune solution ne respectait la condition *respecte l'intimité* (E11). Il est en effet compliqué de créer une solution *attractive* (E9), c'est-à-dire visible de loin, *collaborative* (E5) où tous les membres du groupe ont la visibilité sur l'action et qui en même temps protège du regard des autres visiteurs du musée (E11).

Table 11 : Croisement des préconisations et des storyboards. « + » : conformité totale (1 pt), « +- » : conformité partielle (0 pt), « - » : non conforme (-1 pt).

	Storyboards				
	Figurines	Train	Mains	Totem	Cadran
E1. Utilisable en parallèle	+	+-	+-	--	+
E2. Utilisable sans la présence de tous	+	+	--	+	--
E3. Intuitive	+-	+	+	+	+-
E4. Réversible	+	+	+-	+	+
E5. Collaborative	+	+	+-	+	+
E6. Favorisant la négociation	+	+	+	+	+
E7. Permettant des sous-groupes	--	+	--	--	--
E8. Tout public	--	+	+	+	+
E9. Attractive	+	+	+	+	+
E10. Favorisant l'engagement	+	+	+	+	+
E11. Respectant l'intimité	--	--	--	--	--
E12. Favorisant l'après-visite	--	--	+	+	--
Score	3	7	3	6	3

Afin de départager les deux solutions restantes et étudier plus en détail l'aspect tangible de l'interaction, nous nous sommes appuyés sur les critères du tangible définis par Hornecker (Hornecker et Buur, 2006 ; Hornecker, 2010). La Table 12 présente l'analyse des solutions St2 « train de visiteurs » et St4 « totem de personnalisation » au regard de ces critères du tangible de Hornecker traduits en français. En conclusion de cette analyse, la solution totem est une représentation puissante du groupe comme la somme de ses parties et semble mieux tirer parti des caractéristiques des interactions tangibles au sens de Hornecker et Buur (2006).

La principale différence entre les deux solutions porte sur l'appropriation de l'espace. Dans le scénario « totem » (St4) l'emplacement dans la pièce permet aux visiteurs de s'approprier le hall d'entrée du musée et de bien distinguer les différentes tâches : seul dans un coin de la pièce pour le choix individuel (âge) ou rassemblés autour du totem pour les choix collectifs (nombre et durée). La solution du « train de visiteurs » (St2) répond légèrement mieux aux préconisations car elle facilite la constitution de sous-groupes (E7). Néanmoins, la manipulation des rails (St2) peut se révéler longue et risque de décourager les visiteurs. Cette analyse nous permet donc d'identifier le scénario « totem » comme ayant les propriétés les plus intéressantes pour l'interaction.

## Chapitre 4. Choix d'un parcours de visite personnalisé par les visiteurs

Table 12 : Évaluation des scénarios « totem » et « train » par rapport aux critères du tangible définis par Hornecker. « + » : conformité totale (1 pt), « +- » : conformité partielle (0 pt), « - » : non conforme (-1 pt).

<i>Critères du tangible de Hornecker</i>		<i>Train de visiteurs (St2)</i>		<i>Totem de personnalisation (St4)</i>
Est-ce que les utilisateurs peuvent prendre, sentir et bouger "les choses importantes" ?	+	Les visiteurs peuvent manipuler les figurines, les rails et les durées.	+	Les visiteurs peuvent manipuler nombre et âge à travers les blocs à assembler, et le temps par l'aiguille d'une horloge.
Y a-t-il un feedback rapide pendant l'interaction ?	+	L'ajout de rails au fur et à mesure permet de voir évoluer la constitution du parcours.	+	Le totem est la visualisation directe de la constitution du groupe. La position de l'aiguille indique la durée choisie.
Les utilisateurs peuvent-ils procéder par petites étapes expérimentales ?	+	L'ajout de rails au fur et à mesure permet de faire évoluer la constitution du parcours.	+	Les blocs peuvent être assemblés ou désassemblés, l'aiguille peut être bougée petit à petit.
Les utilisateurs peuvent-ils expérimenter l'interaction tout de suite, dès le début ?	+	Les visiteurs manipulent dès le début les figurines les représentant.	+	Les blocs à assembler reprennent le fonctionnement des LEGO pour suggérer l'assemblage.
Est-ce que les objets et les gens se rencontrent et s'invitent dans l'interaction ?	+-	Les objets étant petits et sur une table, il y a un risque que les visiteurs ne les voient pas.	+	La présence des blocs et du socle dans la salle d'accueil peut éveiller la curiosité.
Comment le corps humain est-il en relation avec l'espace ?	-	L'espace n'est pas utilisé.	+	La position dans l'espace détermine si les utilisateurs travaillent seuls ou en collaboration.
Pouvez-vous créer un lieu qui a du sens et une atmosphère ?	-	Le concept de chemin de fer n'est pas directement relié avec la thématique du musée.	-	Le concept de totem n'est pas directement relié avec la thématique du musée.
Est-ce que bouger des choses (ou votre propre corps) a un sens ?	+	Ajouter des rails permet de modifier sa visite.	+	Le fait d'empiler les blocs sur le socle signifie la constitution d'un groupe.
Tout le monde peut-il voir et suivre ce qu'il se passe ?	+	Tous les gens autour de la table peuvent voir la constitution du parcours.	+	Tout le monde voit le totem se constituer au fur et à mesure.
Pouvez-vous utiliser tout votre corps ?	-	Les manipulations sont uniquement manuelles.	+	Le déplacement dans l'espace a un sens, et le fait de porter les blocs mobilise le haut du corps.
Les utilisateurs peuvent-ils s'approprier l'espace en s'y déplaçant physiquement ?	-	Le positionnement des visiteurs n'est pas important.	+	Le fait de constituer son groupe comme un jeu où l'on va d'un bout à l'autre de la pièce permet de s'approprier le lieu.
Les utilisateurs peuvent-ils être fiers d'avoir des mouvements avancés ? Peuvent-ils développer des compétences avec le temps ?	-	Les interactions nécessaires sont assez simples pour pouvoir être faites par des enfants.	-	Les interactions nécessaires sont assez simples pour pouvoir être faites par des enfants.
Pouvez-vous communiquer à travers les mouvements de votre corps pendant que vous faites ce que vous faites ?	+-	Ajouter des rails et embranchements favorise la négociation avec les autres membres du groupe dans la constitution de sous-groupes.	+-	Prendre une pièce et l'amener vers le socle montre la participation au groupe. Tourner l'aiguille des heures peut permettre de négocier l'heure de sortie du musée.
Les actions sont-elles disponibles publiquement ?	+	L'action est visible et partageable par toutes les personnes autour de la table.	+	Les blocs sont gros donc l'action est visible par tous. Chacun peut saisir les blocs et l'aiguille.
Est-ce que la disposition physique amène les utilisateurs à collaborer en contraignant subtilement leur comportement ?	+	Les rails ne peuvent s'emboîter que les uns à la suite des autres ce qui contraint la constitution des parcours en linéaire et en parallèle.	+	Le groupe doit s'assembler autour du socle pour collaborer et l'emboîtement des blocs les contraint à constituer un totem ensemble et choisir ensuite ensemble la durée sur le socle.

## Chapitre 4. Choix d'un parcours de visite personnalisé par les visiteurs

<i>Critères du tangible de Hornecker</i>	<i>Train de visiteurs (St2)</i>		<i>Totem de personnalisation (St4)</i>	
Existe-t-il un focus physique qui rassemble le groupe ?	+	Le chemin de fer est central.	+	La présence du socle concentre l'attention du groupe sur le totem.
Tous les utilisateurs peuvent-ils mettre la main sur les objets centraux ?	+	Les visiteurs peuvent tous manipuler les figurines/rails mais ils doivent se les partager.	+	Chacun peut agir sur la pièce le représentant. Tous peuvent agir sur la flèche de temps.
Pouvez-vous passer le contrôle à tout moment et partager une activité de manière fluide ?	+	Un visiteur peut reprendre les rails d'un autre visiteur.	+	Un utilisateur peut prendre le relai pour amener la pièce d'un autre, ou finir de choisir le temps de visite.
La représentation s'appuie-t-elle sur l'expérience des utilisateurs et se connecte-t-elle à leurs compétences ?	+	L'interaction repose sur l'expérience de construction de chemins de fer pour petit train.	+	L'interaction repose sur l'expérience de construction avec des LEGO.
Quel est le seuil d'entrée pour l'interaction ?	+	L'interaction d'assemblage par aimant ou en emboîtant les rails est assez simple pour être effectuée par un enfant	+	L'interaction consiste à ramasser un objet et le poser sur un socle, elle est assez simple pour être effectuée par un enfant.
Les représentations sont-elles lisibles, avec du sens et expressives ? Leur pertinence est-elle durable ?	+	La métaphore du petit train est connue et durable.	+	La métaphore du totem est connue et durable, ainsi que celle de l'horloge.
Les représentations physiques et numériques ont-elles une force similaire ?	+-	La représentation numérique sera plus présente dans la phase ultérieure de choix du parcours parmi ceux proposés.	+-	La représentation numérique sera plus présente dans la phase ultérieure de choix du parcours parmi ceux proposés.
Les utilisateurs peuvent-ils penser ou parler avec / à travers des objets, en les utilisant comme accessoires pour agir ?	+	La manipulation des rails permet de supporter la négociation sur les séparations en sous-groupes	+	La manipulation de l'aiguille permet de supporter la négociation du temps de visite.
La représentation donne-t-elle aux discussions un focus et fournit-elle un enregistrement (trace) ?	+	La constitution du chemin de fer focalise la discussion sur le parcours à venir, le résultat est tracé par le chemin de fer construit.	+	Le focus est sur le socle, le totem et la position de l'aiguille tracent le choix final.
Est-il facile de comprendre les relations entre l'action et les effets ?	+	Le choix d'un ou plusieurs chemins et de groupe de visiteurs est facilement rapportable aux rails et aux wagons.	+-	L'ajout de pièces « tête » constitue en soit le totem. Le lien avec la proposition d'un parcours n'est pas évident.
Existe-t-il des représentations puissantes qui transforment le problème ?	+	La notion de sous-groupes qui se rejoignent ou se séparent est facilitée par la métaphore de chemin de fer.	+	Le totem représente le groupe comme la somme de ses parties individuelles.
Score	13		17	

*Prototype basse-fidélité*

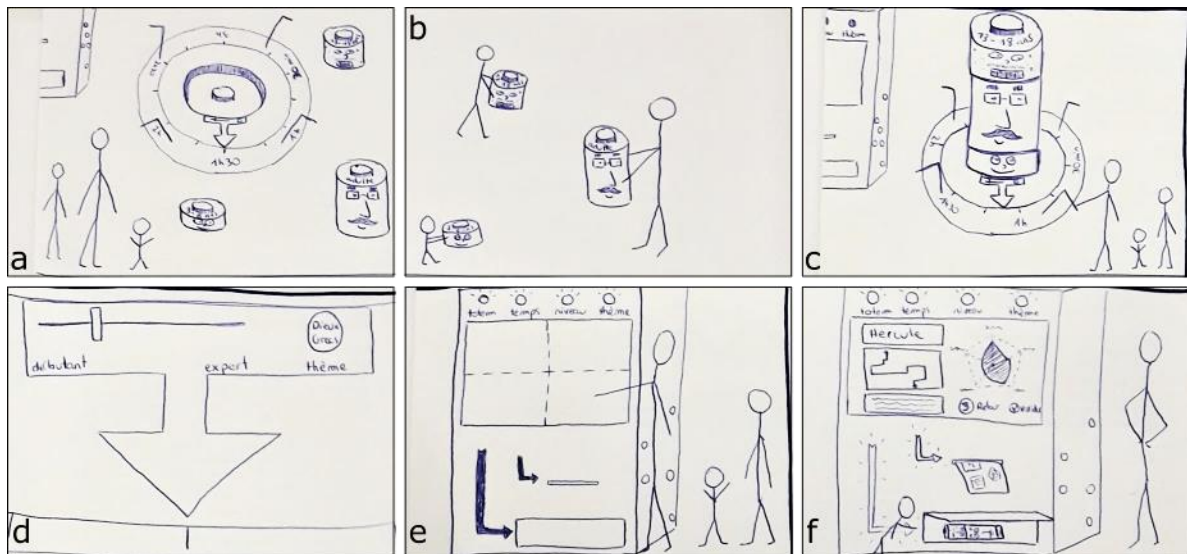


Figure 54 : Storyboard final pour la solution totem de personnalisation. Extrait de (Mauriéras, 2018).

Le scénario St4 consiste en la construction d'un « Totem de personnalisation » (Figure 54). Lorsque le groupe de visiteurs arrive au musée, des blocs de totem sont disponibles dans l'entrée. Ils sont de quatre tailles différentes avec des visages correspondant aux quatre catégories d'âge des visiteurs identifiées par les musées partenaires (3-6 ans, 7-12 ans, 13-18 ans, adultes). Chaque visiteur du groupe prend une tête qui lui correspond. Les visiteurs emboîtent leurs blocs les uns sur les autres sur un socle prévu à cet effet. Ils construisent ainsi le totem de leur groupe. Au pied du totem, une plate-forme circulaire mobile présente les heures de départ du musée. En tournant cette plate-forme, les visiteurs choisissent ensemble l'heure à laquelle ils souhaitent terminer leur visite (ou l'heure de fermeture s'ils n'ont pas de contrainte).

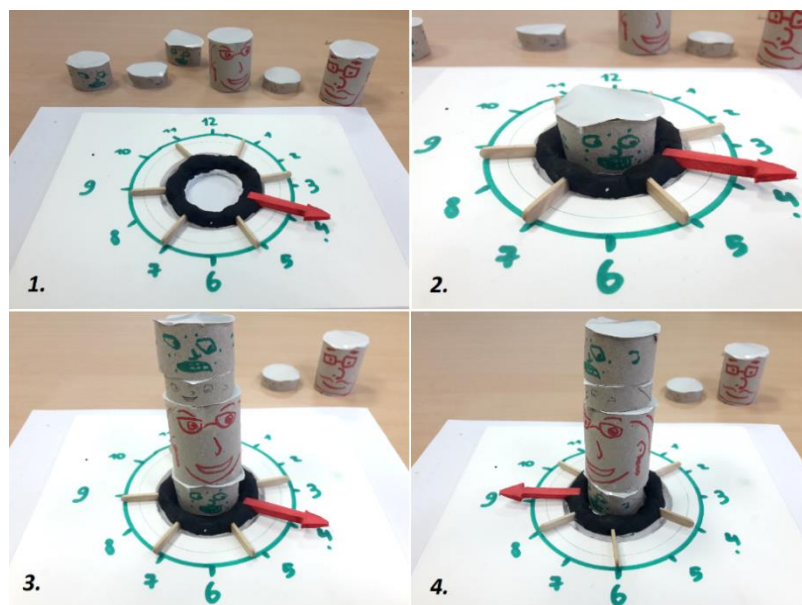


Figure 55: Prototype basse-fidélité du « Totem de personnalisation ». Extrait de (Mauriéras, 2018).

Un prototype basse-fidélité miniature (Figure 55) nous a permis de simuler l'interaction en utilisant la technique du magicien d'Oz (Kelley, 1984). Nous avons également pu lister les enjeux techniques pour l'implémentation, comme par exemple la stabilité de la structure, la détection de la direction de l'aiguille ou la détection individuelle de chaque bloc posé sur le socle. Certaines pistes ont été évoquées pour répondre à ces enjeux : traitement d'image ou phidget<sup>20</sup> rotatif pour la détection de l'aiguille ; RFID (Radio Frequency Identification) tel que dans *RFIBricks* (Hsieh *et al.*, 2018), infrarouge comme dans les *Sifteo* (Merrill, Kalanithi et Maes, 2007 ; Merrill, Sun et Kalanithi, 2012) ou fibre de verre comme pour *Luminos* (Baudisch, Becker et Rudeck, 2010) pour gérer l'empilement.

### *Discussion*

Cette solution nous a permis de faire émerger deux types de caractéristiques de personnalisation : identitaires fixes (âge, expertise) ou négociables collectivement (thème, durée, motivation). Les caractéristiques individuelles sont incarnées dans le choix d'un bloc par un visiteur dans la salle. Les caractéristiques collectives sont à négocier sur le socle du totem une fois le groupe rassemblé pour poser son bloc sur le totem. La composition du groupe est quant à elle incarnée par le totem en lui-même. Cette constatation nous permet d'envisager simplement l'extension du concept aux autres caractéristiques de personnalisation. Par exemple, l'expertise pourrait être un nombre d'étoiles ou un chapeau à ajouter sur le bloc choisi. Le système serait alors configuré par le médiateur pour gérer des différences de niveaux (prendre l'expertise la plus basse ou la plus haute, faire une moyenne). La motivation de visite (s'amuser, apprendre, expérimenter) correspond à une caractéristique à négocier au sein du groupe et pourrait être représentée par trois boutons physiques sur le socle du totem.

Ce prototype peut être classé comme une interface tangible de type *assemblage par construction (constructive assembly)* au sens de Ullmer, Ishii et Jacob (2005). Les ajouts de caractéristiques par des objets supplémentaires sur les blocs peuvent quant à eux correspondre à des interactions de type *token+constraint* selon la même classification. Cette solution combine donc des approches diverses en interaction tangible : l'assemblage de blocs, l'utilisation de contraintes physiques et l'utilisation de l'espace et du corps (*Spatial Interaction*) (Hornecker et Buur, 2006). Ce prototype, installé dans l'accueil d'un musée, pourrait ainsi nous permettre d'expérimenter ce continuum d'interactions de typologies différentes, voir si elles s'articulent et se comprennent bien, et de tester si les visiteurs osent se déplacer et s'approprier cet espace public spécifique qu'est le musée.

La réalisation de ce prototype basse-fidélité, même miniature, nous a également permis de soulever une contrainte majeure : l'espace nécessaire dans le hall d'entrée du musée pour mettre en place le système. En effet, la responsable des publics du musée Saint-Raymond nous a indiqué que dans le cas de son musée cette pièce sert également pour la billetterie et la boutique. Il n'est donc pas possible pour elle de dédier un grand espace à l'interface de choix de parcours de visite. Un prototype tangible « grandeur nature » tel que le totem, se basant sur les interactions spatiales (*Spatial Interaction*) (Hornecker et Buur, 2006), n'est donc pas

---

<sup>20</sup> Phidgets est une marque de capteurs et actuateurs <https://www.phidgets.com/> (03/03/2020)

adapté pour ce type de petit musée. Il pourrait être pertinent dans un établissement plus grand comme la Cité du Vin à Bordeaux par exemple (où l'on pourrait imaginer la constitution d'une bouteille de vin en plusieurs morceaux plutôt qu'un totem). Afin de raffiner la solution pour le cas du musée Saint-Raymond, nous avons mis en place une démarche de conception participative (Greenbaum et Kyng, 1991) afin de créer un prototype d'aide au choix de parcours de visite personnalisés utilisable dans le contexte d'un petit musée.

### 4.2.2. Construction du profil de visite

Après avoir affiné les besoins grâce à ce premier prototype, nous avons décidé de concevoir un prototype spécifiquement pour le musée Saint-Raymond. Nous avons mis en place un atelier de conception participative avec les visiteurs et les professionnels du musée. Cet atelier était divisé en deux parties : une session de brainstorming et une session de prototypage basse fidélité. Cet atelier a duré deux heures et a réuni 13 participants dans la salle d'activité du musée Saint-Raymond. Les participants étaient de profils variés : deux visiteurs de musée, trois professionnels (conservateur, médiateur culturel et responsable du service des publics du musée), trois chercheurs en IHM et quatre étudiants du Master 2 IHM. Les visiteurs ont été recrutés par le biais des réseaux sociaux du musée et par les contacts laissés par les participants intéressés lors de la phase d'analyse des besoins. Les participants ont été divisés en deux groupes, en prenant soin d'équilibrer les différents profils (Figure 56).

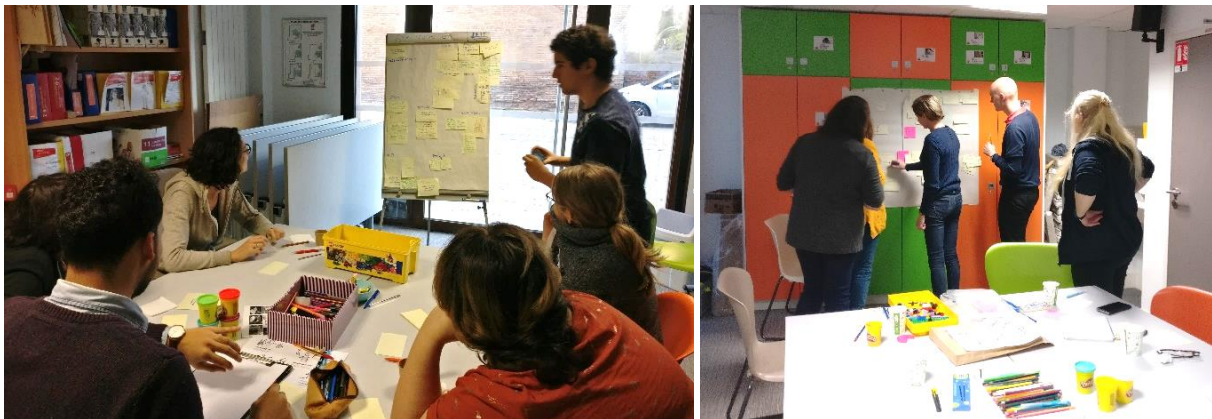


Figure 56 : Les deux groupes de participants pendant le brainstorming au musée Saint-Raymond

Après l'exposition de la problématique, une phase individuelle d'écriture a permis de générer les premières idées qui ont été ensuite partagées au reste du groupe. Au fur et à mesure, les autres participants ont pu rebondir sur les propositions pour générer de nouvelles idées. Ces idées ont ensuite été regroupées et un vote a permis de déterminer les pistes préférées. Des binômes se sont ensuite formés pour maquetter les six solutions résultantes (Figure 57).

Le prototype (a) est une *Colonne mobile* de temple miniature composée de plusieurs parties qui peuvent tourner autour d'un axe. Les visiteurs peuvent choisir une valeur pour chaque caractéristique en tournant la partie correspondante de la colonne (temps, motivation, expertise). Ce choix peut se faire dans la file d'attente pour la caisse. Le nombre et le type de tickets achetés permettent ensuite de déduire la composition du groupe. Celle-ci est incarnée par un petit personnage distribué avec les billets. Les visiteurs peuvent ensuite compléter un temple miniature en y positionnant leur colonne et leur figurine pour choisir leur parcours de

visite personnalisé. Le prototype (b) consiste en une statue d'Hercule sur laquelle les visiteurs peuvent positionner des accessoires (barbe, peau de bête, montre) correspondant à leurs caractéristiques. Le prototype (c) est un jeu de plateau où les visiteurs choisissent leur mode de locomotion, leurs outils et la zone du plateau de jeu en fonction de leurs caractéristiques. *Monsieur Raymond* (d) est calqué sur le principe de M. Patate™ avec des accessoires représentant les caractéristiques de visite à ajouter sur une base figurative. Le prototype (e) est un théâtre optique intégré dans un temple miniature qui permet aux visiteurs de passer un test de personnalité afin de personnaliser leur visite. Enfin le prototype (f) est inspiré de VoxBox (Golsteijn *et al.*, 2014) et propose des interacteurs tangibles (boutons rotatifs, cube, rouleaux, etc.) pour chaque choix de caractéristique.



Figure 57 : Les six prototypes basse-fidélité produits durant la séance de brainstorming : a) Colonne mobile b) Hercule c) Jeux de plateau d) Monsieur Raymond e) Test de personnalité f) MuseoBox

À la suite de cet atelier, nous avons évalué les prototypes basse-fidélité selon les préconisations listées dans le chapitre 4.1.3, auxquelles nous avons ajouté la contrainte d'occupation restreinte de l'espace (E13). La Table 13 présente le résultat de cette analyse et les scores correspondants pour les six prototypes issus du brainstorming. Cette évaluation nous a permis de faire ressortir ex-aequo les prototypes correspondant le plus aux préconisations : *Colonne* (a), *Hercule* (b) et *M. Raymond* (d). Les prototypes *Hercule* et *M. Raymond* correspondent au même principe d'interaction : ajouter des éléments de personnalisation sur une représentation anthropomorphique. La métaphore de la statue antique permettant de mettre en avant une des pièces maitresses du musée Saint-Raymond, nous l'avons préférée à celle de M. Patate™.

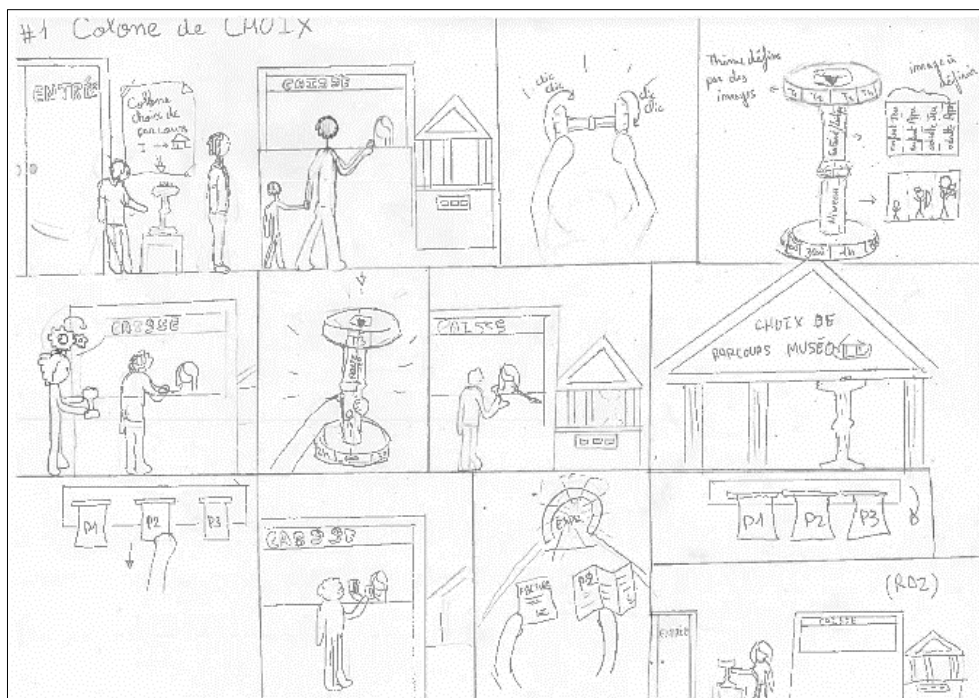
La *Colonne* (Figure 58 haut) est une réinterprétation du *Totem de visite* (chapitre 4.2.1) en version miniature et transportable. Plusieurs colonnes peuvent être utilisées en parallèle dans la file d'attente pour choisir les caractéristiques du groupe et utiliser ainsi le temps d'attente plutôt que de le doubler. Le choix du thème et du parcours est réalisé sur le temple, la parallélisation de la tâche est donc partielle (E1). Une fois la colonne insérée dans le temple,

## Chapitre 4. Choix d'un parcours de visite personnalisé par les visiteurs

les visiteurs ne peuvent plus modifier simplement leurs choix de caractéristiques pour faire varier les parcours proposés (E4). Les visiteurs peuvent repartir avec la figurine représentant leur groupe et symbolisant leur visite (E12). Le prototype *Hercule* (Figure 58 bas) permet de manipuler à plusieurs les caractéristiques de personnalisation et favorise donc la collaboration (E5) et la négociation (E6). Sa grande taille ne permet pas de le dupliquer pour une utilisation par plusieurs groupes en même temps (E1) et rend visible les choix des visiteurs aux autres personnes présentes dans le hall d'entrée du musée (E11).

Table 13 : Croisement des préconisations et des prototypes issus du brainstorming. « + » : conformité totale (1 point), « +- » : conformité partielle (0 pt), « - » : non conforme (-1 pt).

	Prototypes					
	Colonne	Hercule	Jeux de Plateau	Monsieur. Raymond	Test de personnalité	MuséoBox
E1. Utilisable en parallèle	+-	-	-	-	-	-
E2. Utilisable sans la présence de tous	+	+	+	+	+	+
E3. Intuitive	+	+	+-	+	+	+
E4. Réversible	+-	+	-	+	-	+
E5. Collaborative	-	+	-	+	-	+-
E6. Favorisant la négociation	-	+	+-	+	+	+-
E7. Permettant des sous-groupes	-	-	-	-	-	-
E8. Tout public	+	+	+	+	-	+
E9. Attractive	+	+	+	+	+-	+
E10. Engageante	+	+	+	+	-	+-
E11. Respectant l'intimité	+	-	-	-	+	-
E12. Favorisant l'après-visitte	+	-	-	-	-	-
E13. Peu encombrant	+	+	+	+	+	+
Score	5	5	-1	5	-2	2





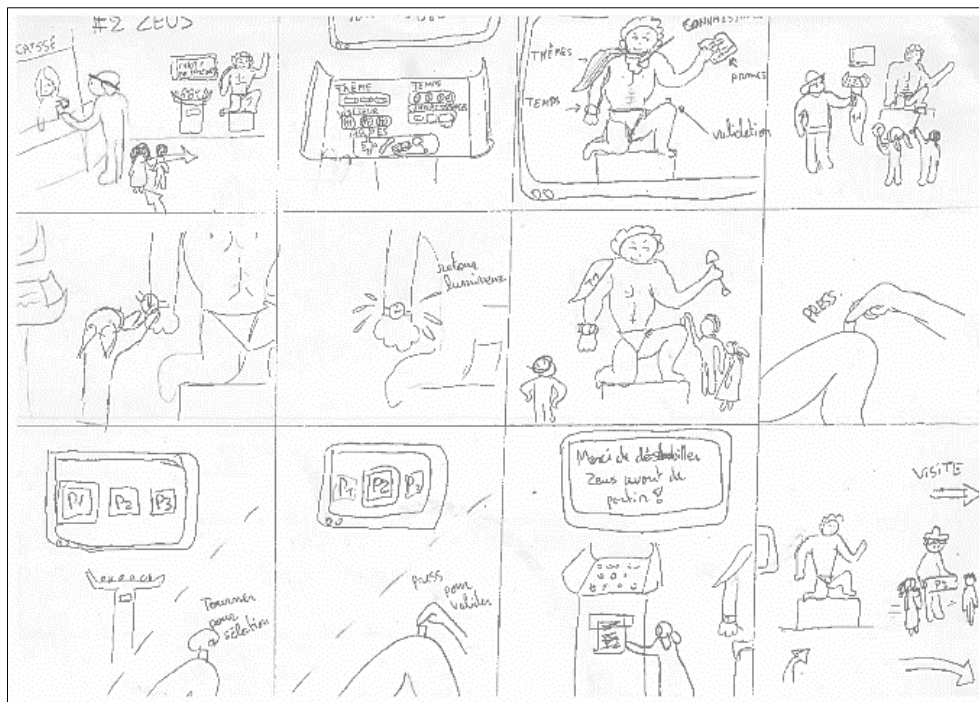


Figure 58 : Storyboards des solutions *Colonne* et *Hercule*. Extrait de (Fatmi et al., 2019). Voir en plus grand en Annexe 4C.

Afin de départager les solutions *Hercule* et *Colonne*, des tests utilisateur sur les deux prototypes basse-fidélité (Figure 59) ont été organisés avec 11 participants (étudiants ingénieurs de l'ENAC et étudiants du Master 2 IHM de Toulouse). Chaque participant se voyait attribuer une carte personnage (parmi sept) et un scénario (parmi quatre) lui indiquant les caractéristiques de son groupe de visite. Le participant devait ensuite manipuler chacun des deux prototypes afin de spécifier les caractéristiques correspondant à cette situation. L'ordre des prototypes était contrebalancé. Les participants ont ensuite rempli un SUS (System Usability Scale ; Brooke, 1996) et répondu à un questionnaire afin de déterminer leurs préférences et les avantages de chaque solution.

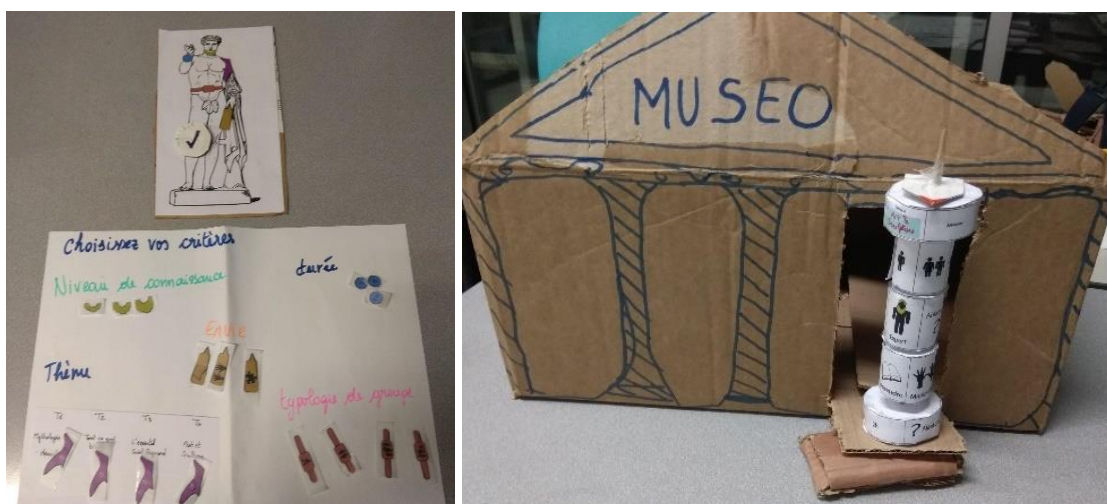


Figure 59 : Prototypes moyenne-fidélité des solutions *Hercule* et *Colonne*. Extrait de (Fatmi et al., 2019).

Les résultats du SUS sont équivalents pour les deux prototypes avec un score de 83,1 sur 100 pour le prototype *Colonne* et 84,2 sur 100 pour le prototype *Hercule*. Ce score place les deux

dispositifs d'interaction dans la catégorie « bonne utilisabilité » perçue par les utilisateurs (Bangor, Kortum et Miller, 2008). Les préférences exprimées par les participants pour les différentes caractéristiques (design, innovation, maniabilité, etc.) ne permettent pas non plus de départager les deux solutions (Figure 60).

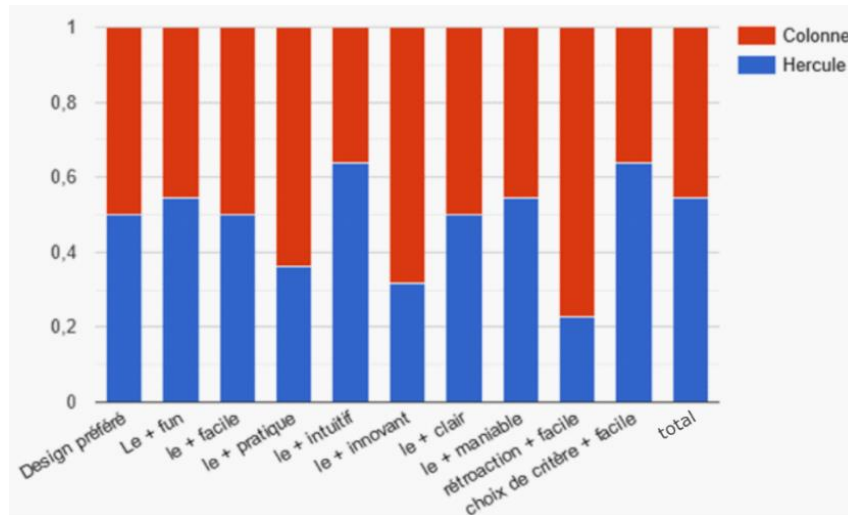


Figure 60 : Taux de préférence pour les prototypes Hercule et Colonne. Extrait de (Fatmi *et al.*, 2019).

Leurs retours permettent néanmoins de faire émerger des améliorations potentielles. Ainsi, les interactions ont été mieux comprises sur la *Colonne* car elles sont contraintes selon un seul degré de liberté (rotation autour de l'axe). Une amélioration potentielle du *Hercule* serait, par exemple, de mieux matérialiser, voir contraindre, les zones sur lesquelles déposer les accessoires.

Les deux solutions ont été présentées à la responsable du service des publics du musée Saint-Raymond. Sa préférence s'est portée sur la métaphore du prototype *Hercule*, qui permet de personnifier le profil des visiteurs sous la forme figurative du héros de la mythologie grecque Héraclès (plus connu sous son nom dans la mythologie romaine, Hercule). Cette solution a également été choisie car la solution *Colonne* nécessite que l'agent d'accueil repositionne régulièrement les dispositifs en début de file d'attente, rendant contraignante la remise à zéro du système. Une étude de faisabilité technique a également montré que la réalisation de la *Colonne* était plus complexe (reconnaissance d'image pour déterminer le cran choisi pour chaque anneau de la colonne) que celle du prototype *Hercule* (RFID pour déterminer la présence d'une pièce d'accessoire). Dans les deux cas, la directrice du musée a exprimé son inquiétude quant à la perte potentielle des pièces du prototype tangible.

### 4.3. Développement de Build Your Own Hercules

À la suite des premiers retours des tests utilisateur, nous avons itéré sur le prototype choisi afin de concevoir et réaliser le prototype haute-fidélité *Build Your Own Hercules (BYO Hercules)*. Le scénario d'usage peut être décrit comme suit : en arrivant au musée, les visiteurs sélectionnent les caractéristiques de visite leur correspondant le mieux afin d'équiper *Hercule* avec ses

attributs<sup>21</sup> – parfois anachroniques – de demi-dieu. Le profil ainsi constitué leur donne accès à trois parcours personnalisés dans le musée parmi lesquels choisir leur visite du jour.

Ce système consiste en un plan incliné représentant une statue d'Hercule avec des zones creuses à plusieurs endroits du corps et un ensemble de pièces en bois pouvant s'insérer dans les creux comme un puzzle (Figure 61). Chacune des découpes, de forme et de couleur différente, représente une des caractéristiques de visite présentées Table 10 (à l'exception de l'âge qui a été intégré dans la notion de « composition du groupe »). Un jeu de pièces en bois de même forme et même couleur correspond à chaque zone : des barbes<sup>22</sup> pour le niveau de difficulté (débutant, intermédiaire, avancé), des léontés<sup>23</sup> sur l'épaule pour le thème (mythologie, archéologie, potins, etc.), des outils à la main pour l'intention (découvrir, s'amuser, apprendre), des montres anachroniques pour la durée (30 minutes, 1 heure, etc.) et des ceintures<sup>24</sup> pour la composition du groupe (une personne, deux personnes, famille, groupe d'adulte). L'insertion d'une pièce en bois dans une zone correspond au choix d'une valeur pour une caractéristique de visite. Une LED placée à proximité de la zone s'allume alors pour indiquer que le choix a bien été pris en compte. À chaque sélection et dès le premier ajout, la liste des parcours personnalisés disponibles est triée en fonction de la ou les valeurs choisies. Les trois parcours correspondant le plus aux caractéristiques entrées sur le système sont présentés sur un écran tactile au pied d'Hercule.

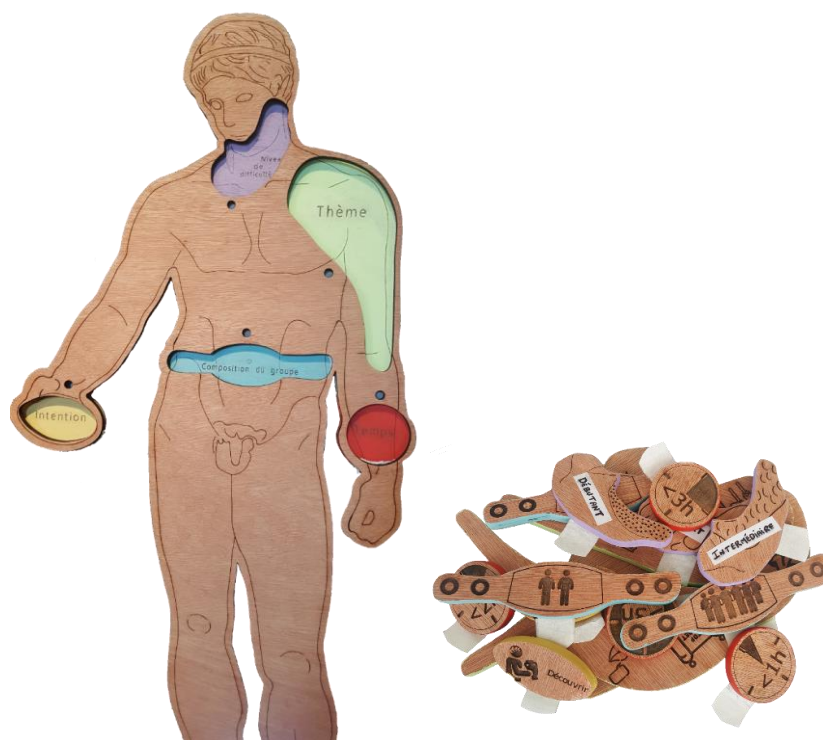


Figure 61 : Le prototype haute-fidélité *Build Your Own Hercules* permettant aux visiteurs de choisir les caractéristiques de visite qui leur correspondent en plaçant les pièces correspondantes sur Hercule

<sup>21</sup> Attribut est ici à comprendre au sens de « objet symbolique associé à une figure humaine permettant de la reconnaître : le foudre de Zeus, la balance de la Justice, la couronne du roi... » (Source Wikipedia).

<sup>22</sup> La barbe d'Hercule sert à identifier son âge et donc la chronologie sur les représentations des travaux.

<sup>23</sup> Fabriqué avec la peau du lion de Némée, l'enjeu du premier des douze travaux.

<sup>24</sup> La ceinture d'Hippolyte, reine des Amazones, est l'objet du neuvième des 12 travaux.

Les 26 pièces permettant aux visiteurs de personnaliser Hercule sont équipées chacune d'un tag passif RFID permettant de les identifier de manière unique. La taille des pièces les plus petites a été calculée pour éviter tout risque d'étouffement des enfants<sup>25</sup>, soit cinq centimètres au minimum. Cette taille convient également pour une saisie de précision telle que définie par Cutkosky et Howe (1990). Le plan incliné en forme d'Hercule est réalisé à la découpeuse laser en medium de neuf millimètres d'épaisseur et mesure 90 cm de haut.

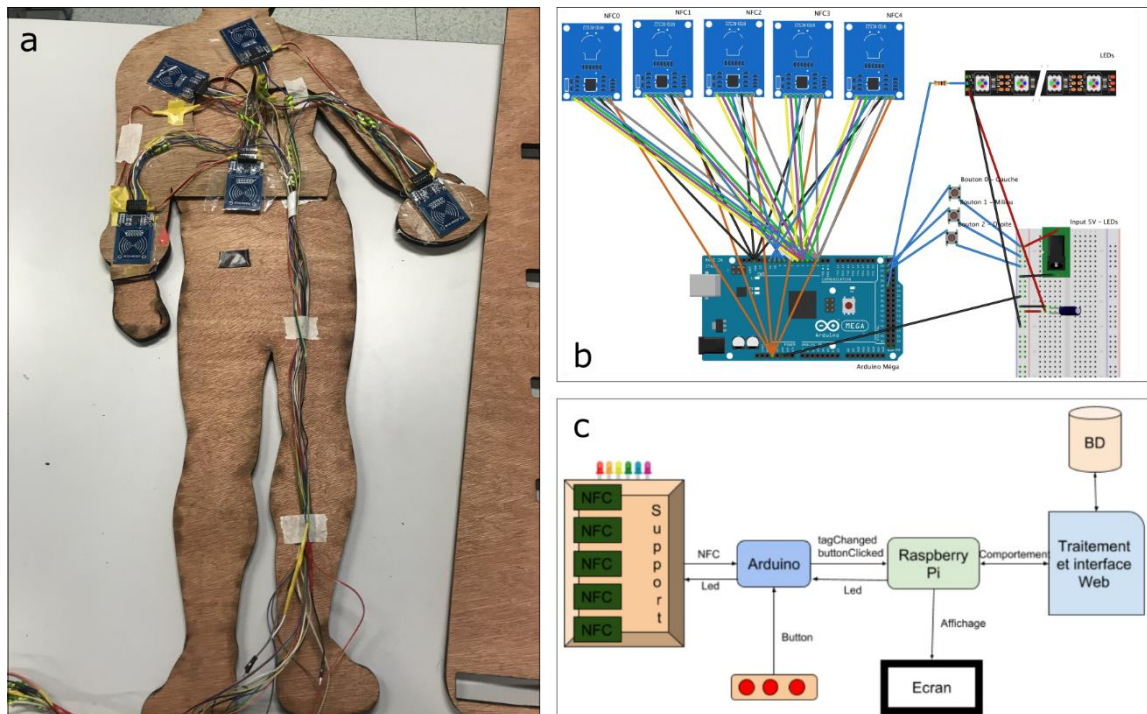


Figure 62 : Réalisation de *BYO Hercules* : a) dos d'Hercule, b) schéma de câblage électronique, c) architecture matérielle. Extrait de (Fatmi *et al.*, 2019).

Un lecteur RFID (MFRC522) est placé derrière chacune des zones creuses afin d'identifier quelle pièce a été encastrée dans la forme (Figure 62a). Un Arduino Méga permet de gérer les entrées/sorties du système : les cinq lecteurs RFID pour la détection, les cinq LED pour le feedback d'insertion et les trois boutons poussoirs pour choisir le parcours dans la liste affichée sur l'écran (Figure 62b). Un Raspberry Pi 3 héberge la base de données (sqlite) permettant de garder en mémoire les pièces identifiées et les parcours (fictifs pour cette itération). Il interprète les informations reçues au format JSON par le port série depuis l'Arduino, traite les caractéristiques choisies et met à jour la liste des parcours proposés (Figure 62c). Celle-ci est affichée dans une application web (Vue.js) sur l'écran directement connecté au Raspberry et permet aux visiteurs de consulter la description et choisir leur parcours (Figure 63a, b, c). Une partie de l'application web est dédiée à la maintenance pour le personnel du musée. Ils peuvent par exemple y ajouter ou supprimer des pièces avec de nouveaux tags RFID (Figure 63d). Cette partie de gestion leur permet de faire évoluer simplement l'application afin de proposer de nouvelles caractéristiques aux visiteurs et faire évoluer leur offre (proposer par exemple de nouvelles thématiques).

<sup>25</sup> Directive 2009/48/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0048>

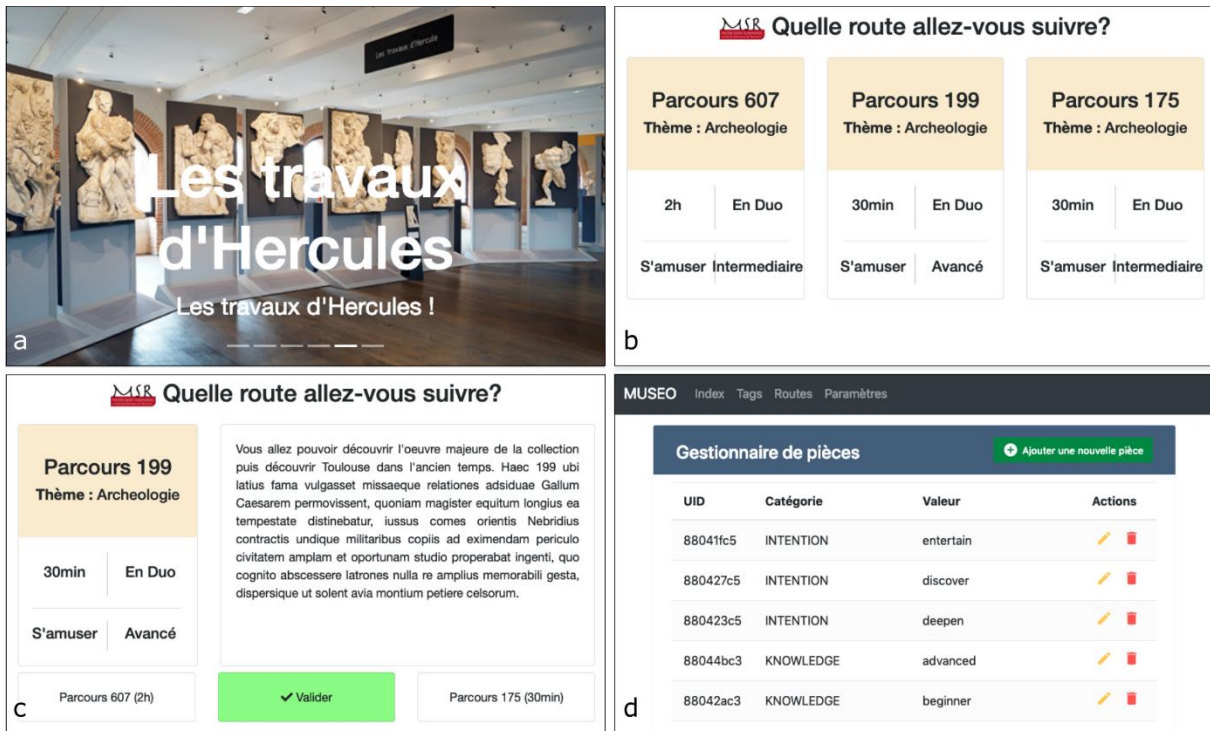


Figure 63 : L'interface sur l'écran tactile de *BYO Hercules* : a) écran d'accueil, b) proposition de trois parcours, c) description d'un parcours et d) écran de maintenance accessible au personnel du musée.

Ce prototype suit le paradigme d'interaction *token+constraint* selon la classification de Ullmer, Ishii et Jacob (2005). En effet, les retours des pré-tests (section 4.2.2) ainsi que les contraintes physiques (faire tenir les pièces sur le torse incliné d'Hercule) et techniques (faciliter la détection des accessoires sélectionnés) nous ont amené à concevoir des formes creuses dans lesquelles imbriquer les attributs d'Hercule. Ces creux (menton, épaule, poignet, etc.) correspondent donc aux *constraints* incarnant le choix pour chaque caractéristique de visite. Tandis que les pièces (barbes, montres, ceintures, etc.) sont les *tokens* qui incarnent les valeurs possibles pour chaque caractéristique (Figure 64). Le positionnement du prototype par rapport à ce paradigme d'interaction est plus largement discuté dans le Chapitre 5.

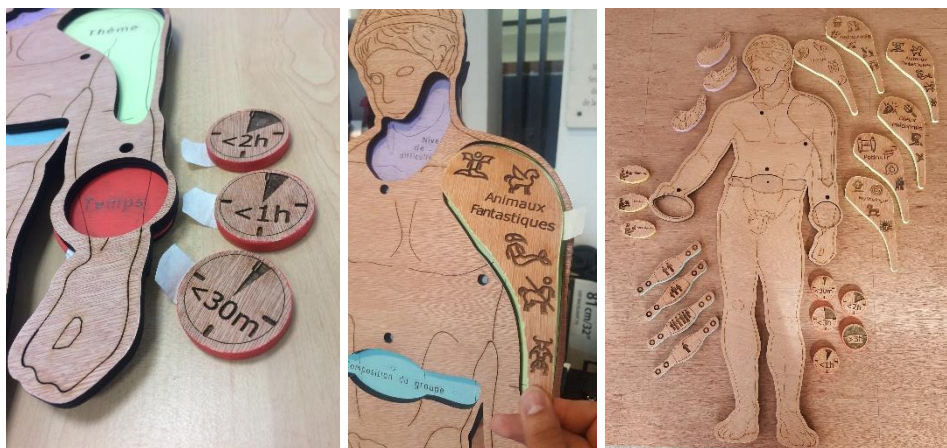


Figure 64 : Sur *BYO Hercules*, chaque zone creuse est une *constraint* pouvant accueillir plusieurs *tokens*, selon le paradigme *token+constraint* de Ullmer, Ishii et Jacob (2005).

## 4.4. Évaluation de Build Your Own Hercules

*Build Your Own Hercules* a été installé à l'entrée du musée Saint-Raymond pendant quatre heures un premier dimanche du mois (visite gratuite) pour s'assurer d'une bonne fréquentation (Figure 65). 22 visiteurs d'âges différents (six groupes de deux à quatre personnes et huit individuels, soit 14 cas d'évaluation) se sont approchés d'eux-même pour expérimenter le prototype, en présence de deux expérimentateurs. L'observation de l'utilisation autonome par les visiteurs a été suivie d'un entretien rapide sur la facilité d'utilisation, la satisfaction des utilisateurs et l'intérêt du système.

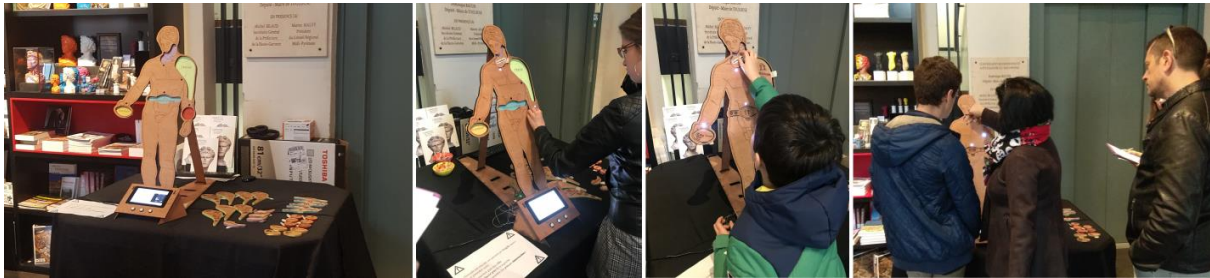


Figure 65 : En arrivant au Musée Saint-Raymond, les visiteurs (adulte seul, enfant ou groupe) choisissent leurs caractéristiques de personnalisation grâce à *Build Your Own Hercules*.

Les visiteurs ont évalué la facilité d'utilisation à 2,01 sur une échelle de Likert allant de 1 (simple) à 5 (complexe). Seuls trois participants ont eu de la difficulté à interagir avec le système, et trois ont consulté le tutoriel sur l'écran tactile. Leurs hésitations venaient essentiellement de la présence de l'écran tactile en sus de la statue d'Hercule. Un des participants a ainsi indiqué qu'il était habitué aux écrans tactiles dans les musées, il pensait donc pouvoir tout faire sur ce dispositif. Un autre participant pensait que Hercule et l'écran constituaient deux systèmes différents.

La syntaxe d'usage du système a été très bien comprise par les visiteurs, il a ainsi été identifié comme un « puzzle innovant » par un des participants. Certains utilisateurs ont trouvé que la multiplicité des pièces donnait une bonne idée de la multiplicité des visites possibles dans le musée. Nous avons pu observer une routine commune à la plupart des visiteurs. Ils ont tout d'abord regardé les emplacements vides sur Hercule pour connaître la nature de l'information à remplir (thème, durée...). Ils ont ensuite parcouru du regard les pièces correspondantes et décidé seuls ou en concertation avec le groupe du meilleur item à choisir avant de le positionner. Ces étapes ont en général été répétées sur les 5 caractéristiques avant de s'intéresser à l'écran. 11 des 14 groupes de participants ont ainsi complété toutes les zones, bien que cette complétude ne soit pas nécessaire pour obtenir des suggestions de parcours. Nous pensons que cela vient potentiellement de l'analogie avec le puzzle, les visiteurs voulant le « terminer » en le remplissant complètement. Certains visiteurs ont été perturbés par le fait qu'aucun ordre n'était requis dans le remplissage des caractéristiques. Mais à l'inverse, l'ordre stricte de remplissage était problématique pour certains utilisateurs de *Voxbox* (Golsteijn *et al.*, 2014). Cela rejoint les constatations de Petrelli et O'Brien (2018) qui indiquent que le style de visite influence le dispositif préféré par les visiteurs. Ici il influencerait potentiellement le besoin de consignes plus ou moins structurées.

Pour 13 des 14 cas d'évaluation, les participants ont trouvé le système utile et approprié. Ils l'ont défini avec les mots suivants : efficace, rapide, ciblé, autonome, accessible et « sympa ». Un groupe d'utilisateurs s'est déclaré réticent car ils ne souhaitaient pas être guidés dans le musée. Cela confirme les résultats de l'analyse du besoin, où 11% des visiteurs déclaraient ne pas vouloir être guidés. Cela rejoint également les observations de Petrelli et O'Brien (2018) selon lesquelles un seul type de dispositif numérique ne peut pas correspondre à tous les types de visiteurs. Le même groupe a déclaré qu'il ne croyait pas que le musée pouvait offrir autant de visites en raison de sa petite taille. Ce dernier point est plutôt positif puisqu'un des objectifs de notre système est justement de casser les préjugés sur les petits musées où une seule visite suffit à « tout voir » et inciter les visiteurs à revenir voir la collection permanente sous un autre angle.

Nous souhaitons également valider l'attractivité du système tangible (Golsteijn *et al.*, 2014), ainsi que sa capacité à favoriser la collaboration (Shaer et Hornecker, 2010). Cependant, ces deux notions ont été plus difficiles à évaluer à cause de la disposition du prototype dans l'entrée du musée, et la précisions de nos mesures.



Figure 66 : Contexte de mise en place de l'observation dans le hall d'entrée du musée Saint-Raymond

Pour l'attractivité, les observateurs (les quatre étudiants du M2 IHM) ont noté le nombre de regards appuyés et de personnes venant interagir avec le système. Leur présence à côté du prototype a pu inciter les visiteurs à s'approcher, et les mesures ne sont pas aussi précises que celles effectuées pour d'autres projets similaires (Kanis *et al.*, 2012). Au moins 68 personnes se sont naturellement intéressées au système (dont les 22 qui l'ont testé), pour un total de 135 visiteurs sur la même période de temps selon le système de billetterie. Nous avons ainsi observé des visiteurs qui souhaitaient interagir avec le système mais se sont éloignés car il était déjà utilisé par un autre groupe. La compétition pour l'attention des visiteurs était forte avec la toute nouvelle exposition temporaire « Age of Classics. L'Antiquité dans la Culture Pop » dont l'entrée se situait juste à côté du système avec une signalétique forte et une ouverture automatique de porte incitant les gens à entrer dans la salle. Ceci rejoint les observations de Hornecker et Nicol (2012) sur l'influence de la localisation et du voisinage des installations

interactives dans les musées. Cette attractivité (50% de visiteurs intéressés et 16% qui interagissent) semble plus importante, malgré l'imprécision de nos mesures, que les résultats de Kanis *et al.* (2012) qui ont constaté seulement 10% de regards de plus de 10 secondes et 2% d'interaction avec leur système BiebBeep pour un échantillon de 403 personnes. Afin d'évaluer de manière plus pertinente l'attractivité du prototype tangible, nous envisageons de mener une évaluation du même type que celle menée par Schmidt *et al.* (2014), avec un décompte du nombre de regards et d'interactions avec le prototype tangible en comparaison d'un dispositif purement tactile.

Pour l'étude de la collaboration, nous n'avons pas pu mettre en place l'appareillage prévu initialement pour filmer les comportements des groupes de visiteurs pendant l'expérimentation et ainsi décoder leurs gestes et interactions. La configuration du musée (le prototype était face à l'entrée, avec l'ascenseur à sa droite et la boutique à sa gauche, et un plafond très haut sans accroches) ne permettait pas de placer simplement une caméra sans qu'elle ne filme le visage de tous les visiteurs entrant dans le musée (Figure 66). Nous avons tout de même pu observer que pour quatre groupes sur six, le groupe se scindait en un manipulateur et des observateurs. Dans deux groupes, un adulte a manipulé seul sans interactions avec le reste de la famille. Dans un autre cas, un adulte a manipulé en échangeant beaucoup verbalement avec ses enfants. Enfin dans le dernier cas, c'est l'enfant qui a effectué toutes les manipulations, en discutant chaque choix avec le parent. Pour le tiers des cas restants, nous avons pu observer des manipulations à plusieurs : deux adolescentes qui ont beaucoup discuté en manipulant les pièces en parallèle, et une famille où la manipulation a été transférée d'un membre à un autre en cours de remplissage. Dans quatre cas sur les six, *BYO Hercules* a suscité des discussions au sein des groupes. Nous pensons que le caractère *out-of-band* des interactions tangibles sur le système de type token+constraint – c'est-à-dire la possibilité de pointer les pièces sur la table ou de les bouger en l'air sans qu'il n'y ait d'interprétation de ces interactions par le système – favorise la discussion au sein des groupes, comme indiqué par Ullmer, Ishii et Jacob (2005). Ces premiers éléments de collaboration doivent être explorés plus avant au moyen d'expérimentations appropriées, potentiellement en positionnant différemment le prototype au sein du musée pour permettre une meilleure captation vidéo, et en appliquant des techniques de codage ou de micro-analyse (Hornecker et Ciolfi, 2019).

### 4.5. Discussion

L'évaluation du prototype *BYO Hercules* selon les questions de conception (notées QB dans la suite) de Bellotti *et al.* (2002) permet de réfléchir plus en détails certains des résultats de l'observation. Bellotti *et al.* se sont inspirés de l'analyse des interactions humain-humain pour proposer un ensemble de cinq questions afin d'encadrer la conception de nouvelles interactions basées sur des capteurs (TUI ou informatique ubiquitaire). Nous répondons donc ci-dessous à ces questions pour *BYO Hercules*.

QB1. Comment le système sait que l'utilisateur s'adresse à lui et pas à un autre système ? Dans le cas de *BYO Hercules*, le système ne prend en compte que la présence ou l'absence de pièces dans les zones. L'utilisation d'antennes RFID de faible portée derrière



chaque zone assure que le système ne détecte les pièces que lorsqu'elles sont à l'intérieur des zones, ce qui garantit que l'utilisateur souhaitait bien interagir avec *BYO Hercules*.

QB2. Comment l'utilisateur sait que le système répond à sa demande ? Le fait de positionner/retirer une pièce entraîne un feedback lumineux immédiat au-dessus de la zone concernée ainsi que la mise à jour de la liste des parcours proposés sur l'écran. Le seul cas où le système ne répond pas à la demande de l'utilisateur peut être au début de son interaction, si les visiteurs précédents n'ont pas enlevé les pièces avant de partir. L'interaction tangible pose ici un problème que les GUI ne posent pas, une temporisation pouvant remettre le système à zéro au bout d'un certain temps sur les GUI. Un système avec des actuateurs poussant les pièces en dehors des encoches a été considéré pendant la phase de conception, mais il était trop complexe à mettre en œuvre.

QB3. Comment le système sait à quel objet la commande de l'utilisateur se réfère ? Dans notre cas, l'utilisateur souhaite choisir une valeur qui lui correspond pour une caractéristique de visite. Une caractéristique est incarnée par une zone creuse et une valeur par une pièce (selon le paradigme token+constraint ; Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). La combinaison pièce plus zone indique donc à la fois la commande et l'objet de la commande : « choisir pour la caractéristique X » « la valeur Y ».

QB4. Comment l'utilisateur sait que le système comprend et exécute correctement son objectif ? L'objectif final de l'utilisateur est de filtrer les parcours selon les valeurs choisies pour les caractéristiques. Le résultat est affiché sur un écran au pied d'Hercule (Figure 65), sous forme de liste des trois parcours jugés les plus pertinents. Chaque parcours mentionne les caractéristiques associées afin que les visiteurs puissent constater l'adéquation avec leurs choix. L'affichage se situe sur un système annexe situé à côté du prototype tangible. Il existe ainsi un écart entre le lieu de l'interaction et la visualisation du résultat, problème récurrent pour les TUI. Cette dichotomie entre les deux dispositifs a d'ailleurs gêné certains visiteurs. Une solution plus « intégrée » avec une projection des visites proposées sur le buste d'Hercule ou un écran placé plus en lien avec le buste (par exemple, un phylactère de bande dessinée placé au niveau du visage) pourrait résoudre ce problème.

QB5. Comment l'utilisateur et le système résolvent les incompréhensions ? Dans le système *BYO Hercules*, les zones étant assez éloignées et les antennes de faible portée, la détection de tags d'autres zones par un lecteur RFID est impossible. Un utilisateur peut éventuellement placer une voire deux pièces d'une autre zone dans la zone plus grande de l'épaule. Le code est robuste dans ce cas : deux tags peuvent être détectés par chaque lecteur RFID et les parcours sont filtrés par rapport à l'ensemble des pièces détectées par tous les lecteurs. Lors de l'observation nous n'avons constaté aucune erreur de détection de tag pendant les quatre heures d'utilisation intensive.

Les questions de Bellotti combinées à l'observation in-situ permettent de souligner la transparence de la communication entre dispositif et utilisateur, et mettent en exergue des améliorations pour la remise à zéro et le rapprochement des zones d'action et de résultat (alignement, QB4).

D'autres études, en plus de celles sur l'attractivité et la collaboration, sont également nécessaires pour évaluer plus précisément l'expérience et l'engagement des utilisateurs, en utilisant par exemple des questionnaires de type UEQ (Laugwitz, Held et Schrepp, 2008) ou SUS (Brooke, 1996). Ce type de collecte d'information normalisée était initialement prévue pour cette expérimentation, mais les visiteurs étant là pour visiter, ils avaient peu de temps à consacrer aux questionnaires et se montraient pressés dès la manipulation terminée. L'explication dès le début de l'expérience du déroulement (« expérimentation libre puis remplissage de questionnaire ») aurait potentiellement pu permettre de tester le prototype avec des visiteurs enclins à répondre aux questions. Cependant, cela aurait pu gêner la libre manipulation du prototype par les visiteurs et en détourner plusieurs. Un autre type d'expérimentation plus cadrée – avec des visiteurs ayant indiqué à l'avance leur participation avec des horaires fixes – serait ainsi plus pertinente pour avoir des résultats plus poussés sur l'expérience utilisateur, mais présenterait un biais en focalisant les visiteurs sur le système (Hornecker et Nicol, 2012). Ce test étant l'aboutissement d'un projet étudiant, son déroulé était ambitieux avec l'envie de mesurer à la fois l'attractivité, la collaboration et l'expérience utilisateur en une seule fois. Il serait ainsi plus pertinent de séparer l'expérimentation en trois parties : attractivité avec mesure du nombre de regards et d'interactions en s'inspirant de Schmidt et al. (2014), collaboration avec vidéo-encodage ou micro-analyse des interactions des groupes de visiteurs (Hornecker et Ciolfi, 2019) et enfin prise de rendez-vous pour la passation de tests normalisés pour l'expérience utilisateur (Laugwitz, Held et Schrepp, 2008).

### 4.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré la personnalisation des parcours de visite du point de vue des visiteurs. Pour répondre à la question Q1, des entretiens semi-directifs menés au musée Saint-Raymond auprès de 37 visiteurs et complétés par des questionnaires en ligne auprès de 133 participants, ont permis de mieux comprendre les facteurs de revisite et de valider l'intérêt des parcours de visite personnalisés. La création de parcours personnalisés répond ainsi aux envies des visiteurs d'approfondir leurs connaissances du musée et de le voir sous plusieurs facettes notamment lorsqu'ils reviennent pour accompagner des proches. Ces études nous ont également permis de croiser les caractéristiques de personnalisation selon les visiteurs avec celles évoquées par les médiateurs. Nous avons ainsi constaté que les caractéristiques se recoupent, à l'exception du nombre de personnes qui est une caractéristique plus « technique » permettant aux médiateurs de prendre en compte l'organisation spatiale des œuvres et du musée. Pour répondre à la question Q2, ces enquêtes, ainsi qu'une analyse de la littérature, nous ont également permis de faire émerger un ensemble de préconisations et de contraintes pour la conception d'un outil d'aide aux choix de parcours personnalisés. Le temps passé sur le dispositif est ainsi apparu comme une contrainte forte, ainsi que la nécessité de traiter des groupes de visiteurs, et de prendre en compte l'aspect public du lieu. Une grille de 12 préconisations de conception extraites de cette analyse a ainsi guidé les étapes suivantes de notre conception.

Deux étapes de conception nous ont permis d'explorer différentes solutions tangibles pour permettre aux visiteurs de choisir les valeurs leur correspondant pour les caractéristiques de personnalisation définies lors de l'analyse. Dans une première étape, nous avons considéré ces

caractéristiques comme pouvant être fixes et individuelles (âge et niveau d'expertise) ou collectives et négociables au sein du groupe (temps, humeur). Le prototype moyenne-fidélité *Totem de Personnalisation* tire parti du concept d' « interaction spatiale » (*Spatial Interaction* ; Hornecker & Buur, 2006) pour matérialiser cette différence : les visiteurs se répartissent dans la salle pour choisir le bloc leur correspondant individuellement, puis se rassemblent autour du socle pour constituer le totem du groupe en empilant les blocs. Cette réunion les invite ensuite à déterminer ensemble les caractéristiques collectives afin de choisir leur parcours personnalisé. Le but de ce prototype est d'inciter les visiteurs à s'approprier l'espace du musée et à prendre conscience de la constitution du groupe par la somme de ses individualités. Ce prototype a été évalué à l'aune de nos préconisations de conception et des propriétés du tangible définies par Hornecker et Buur (2006). Ce prototype nous a permis de prendre conscience de l'intérêt mais aussi des contraintes des interactions tangibles spatiales dans le cas de petits musées disposant de peu de place pour l'accueil des publics.

La deuxième étape de conception a considéré les caractéristiques de personnalisation comme constituantes d'un profil visiteur, avec comme contrainte supplémentaire une utilisation dans un environnement restreint spatialement afin de s'adapter au cas des petits musées. Le prototype haute-fidélité *Build Your Own Hercules*, co-conçu avec des visiteurs et des professionnels du musée Saint-Raymond, permet ainsi aux visiteurs de personnaliser un buste d'Hercule avec ses attributs de demi-dieu afin de constituer leur propre profil de visite et filtrer les parcours personnalisés proposés par le musée. Pour répondre à la question Q3, une étude pilote in-situ menée au musée Saint-Raymond donne des premiers retours intéressants sur la facilité d'utilisation, la satisfaction et l'intérêt de ce système tangible de type token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Cela correspond à ce que Allen (2004) nomme « l'appréhendabilité immédiate » : la compréhension immédiate des visiteurs de l'utilisation et l'intérêt du dispositif dans le contexte d'usage final en « conditions réelles ». Nous avons également identifié des pistes d'amélioration, comme une meilleure intégration de l'affichage des visites proposées dans l'interface tangible, ou la nécessité d'un mécanisme de remise à zéro du système. Cette observation nous a également donné un aperçu des bénéfices du tangible pour l'aide au choix de parcours de visite personnalisés par les visiteurs en matière d'expérience utilisateur, d'attractivité et de collaboration. Ces pistes sont à approfondir par des études plus poussées dont nous avons précisé le protocole dans la section Discussion (questionnaires normalisés, enregistrement vidéo, invitation des participants pour éviter la pression temporelle). *Build Your Own Hercules* a été conçu dans le cadre spécifique du musée des antiques Saint-Raymond mais le concept pourrait être décliné dans d'autres musées, avec par exemple la constitution d'une bouteille de vin ou d'une statue de Bacchus pour la Cité du Vin, ou l'utilisation d'une œuvre phare (tableau ou statue) dans les musées possédant une collection permanente d'expôts physiques.

# Chapitre 5

---

Le paradigme d'interaction tangible  
*Token+Constraint*



Salvador Dalí, *Venus de Milo Aux Tiroirs*, 1965  
© Salvador Dalí, Fundació Gala-Salvador Dalí, Figueres, 2014.

5	Le paradigme d'interaction tangible <i>Token+Constraint</i> .....	133
5.1	Revue systématique de la littérature .....	134
5.2	Grille heuristique de conception .....	140
5.3	Cas d'étude.....	144
5.3.1	MuseoTUI .....	146
5.3.2	Build Your Own Hercules.....	147
5.3.3	PrimBox (Guerrero <i>et al.</i> , 2016) .....	148
5.3.4	Tokens of Search (Lee <i>et al.</i> , 2014) .....	149
5.4	Discussion.....	149
5.5	Conclusion .....	151

## 5 Le paradigme d'interaction tangible *Token+Constraint*

---

Dans les précédents chapitres, les solutions proposées – que ce soit pour les médiateurs ou les visiteurs – relèvent du paradigme d'interaction token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Comme décrit dans le Chapitre 2, Ullmer et al. définissent trois grands types (non exhaustifs) de TUI : « *surface interactive* » (*interactive surface*) où les utilisateurs manipulent des objets physiques sur des surfaces planes augmentées numériquement ; « *construction par assemblage* » (*constructive assembly*) qui utilise l'assemblage de briques modulaires inspiré des LEGO™ ; et « *token+constraint* » (T+C) composé de deux types d'objets tangibles – les « *tokens* » qui incarnent les données et les « *constraints* » qui incarnent les fonctions numériques. Les deux premières catégories sont essentiellement utilisées pour des représentations géométriques ou spatiales, tandis que la dernière permet d'interagir avec des « *données abstraites qui n'ont pas forcément de représentation graphique inhérente ou de langage physique intrinsèque pour leur manipulation* » (*ibid.* traduit de l'anglais). Les caractéristiques de personnalisation des visiteurs étant des données non spatiales sans syntaxe physique associée, il paraît ainsi logique que nos travaux nous aient mené dans cette direction. Cet article de 2005 liste un ensemble de bénéfices de l'approche token+constraint, tels que l'augmentation de la conscience kinesthésique ou la réduction de la charge visuelle, en s'appuyant sur des travaux théoriques en psychologie, science cognitive et IHM. Le but déclaré de l'article est de « *soutenir l'approche token+constraint comme étant un style d'interaction viable et prometteur, digne de recherches, de développements et de déploiements plus approfondis.* » (traduit de Ullmer, Ishii and Jacob, 2005). L'une des deux pistes évoquées pour y parvenir est de « *raffiner ces techniques afin de les utiliser comme interfaces principales ou complémentaires d'anciens et de nouveaux systèmes et de les déployer avec de vrais utilisateurs* » (*ibid.* chapitre 6, p110). Les évolutions techniques en mécanique et électronique laissaient espérer à l'époque le développement de systèmes token+constraint plus fiables permettant des évaluations dans des conditions réelles, sur des « *facteurs qualitatifs, notamment pour la collaboration colocalisée* » (*ibid.* chapitre 6, p110). Nous nous sommes donc demandé si nos travaux tiraient pleinement parti des bénéfices avancés pour les systèmes token+constraint et comment ils se positionnaient par rapport aux travaux se réclamant de ce paradigme, réalisés depuis la parution de l'article en 2005. Après 15 ans d'existence, à quel point ce concept a-t-il été utilisé pour réaliser et tester dans des conditions réelles des prototypes tangibles comme espéré par Ullmer et al. ? Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature (Moher *et al.*, 2010) afin de répondre à cette question. De manière surprenante, peu de prototypes ont été implémentés et testés parmi le grand nombre de travaux citant l'article séminal. Nous nous sommes également rendues compte qu'il était complexe d'analyser l'adéquation d'un système au paradigme, afin de lui garantir les bénéfices avancés. Nous proposons donc une grille heuristique reprenant, synthétisant et simplifiant les lignes directrices de conception et les bénéfices évoqués dans l'article initial afin de guider la conception de futurs systèmes token+constraint. Nous illustrons son utilisation sur nos prototypes ainsi que sur des prototypes issus de l'état de l'art afin de valider son utilité.

Ce chapitre s'organise autour des questions de recherche suivante :

Q1 : Quel est l'impact du paradigme token+constraint dans la réalisation et l'expérimentation de prototypes tangibles en conditions réelles depuis 15 ans ?

Q2 : Comment définir l'adéquation d'un prototype avec le paradigme token+constraint ?

Q3 : Nos travaux tirent-ils pleinement parti des bénéfices avancés pour les systèmes token+constraint ? Comment se positionnent-ils par rapport aux autres travaux se réclamant de ce paradigme ?

## 5.1 Revue systématique de la littérature

Nous avons réalisé une revue systématique de littérature (SLR ; Moher *et al.*, 2010) répondant à la question « quelles instanciations ont été faites du paradigme d'interaction token+constraint ? ». Nous avons recensé pour cela tous les articles citant l'article TOCHI (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) en croisant plusieurs sources : Google Scholar<sup>26</sup>, ACM Digital Library<sup>27</sup> et Scopus<sup>28</sup> en date du 15 avril 2019. Une limitation de ce travail est qu'il permet de recenser uniquement les travaux se référant explicitement à l'article séminal de Ullmer et al. Les 239 résultats de Google Scholar comprenaient l'ensemble des références ACM. Scopus nous a permis d'identifier une référence supplémentaire, ce qui nous donne un total de 240 articles pris en compte dans cette recherche. Nous avons ensuite filtré ces articles selon les cinq critères d'exclusion suivants :

- La langue de publication est autre que l'anglais ou le français (24 articles),
- la publication n'a pas été faite dans une conférence avec comité de relecture (par exemple : rapports<sup>29</sup>) (37 articles),
- le contenu est dupliqué entre plusieurs articles recensés (33 articles),
- la publication ne présente pas de système interactif tangible (par exemple : modèle théorique, taxonomie, concept ou non TUI) (49 articles),
- la référence est une erreur de Google Scholar (pas de citation de l'article TOCHI ou source introuvable) (14 références).

Le nombre d'articles de notre étude a ainsi été réduit de 240 à 83 (voir la liste complète des références incluses en Annexe 5A). Nous avons ensuite évalué l'adéquation du système proposé avec le paradigme d'interaction token+constraint pour chacun des 83 articles restants. Pour ce faire, nous avons recensé les prototypes comprenant au moins une contrainte physique, en ne comptant pas la main comme étant une contrainte physique comme proposé dans TAC (Calvillo-Gómez *et al.*, 2003). Seulement 25 articles sur les 83 instancient ainsi au moins une contrainte tangible dans leurs exemples. Ce taux de 30% peut paraître étonnant, mais nous avons constaté que beaucoup de travaux citent l'article de 2005 comme une taxonomie du tangible, parfois à la place ou combiné avec MCRit (Ullmer et Ishii, 2000) et TAC (Calvillo-Gómez *et al.*, 2003). Ainsi une vingtaine d'articles correspondent à des prototypes de type « *surface interactive* » et une dizaine à des objets tangibles seuls (sans surface ni contrainte). Un article

---

<sup>26</sup>[https://scholar.google.fr/scholar?as\\_vis=1&hl=fr&as\\_sdt=1,5&scioldt=1,5&cites=16886531214696164486](https://scholar.google.fr/scholar?as_vis=1&hl=fr&as_sdt=1,5&scioldt=1,5&cites=16886531214696164486)

<sup>27</sup> <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1057237.1057242>

<sup>28</sup> <https://www.scopus.com/> accès restreint utilisé par l'ENT de l'Université de Bordeaux.

<sup>29</sup> Pratique courante dans les SLR, mais qui élimine les thèses et les HDR et constitue une limitation de notre étude.

parmi les 25 restants va largement au-delà de la notion de token+constraint : InFORM présente en effet une interface à changement de forme permettant de présenter des affordances et des contraintes physiques dynamiques (Follmer *et al.*, 2013).

Dix articles décrivent des technologies génériques (Figure 67) permettant d'implémenter des TUI grâce à des toolkits (Scarlatos, 2006 ; Marco, Cerezo et Baldassarri, 2012 ; Tobias, Maquil et Latour, 2015), des technologies de détection des interactions (Kuo *et al.*, 2016 ; Winder et Larson, 2017 ; Hsieh *et al.*, 2018), ou par l'instanciation de widgets tangibles génériques réutilisables dans divers cas d'usage (Ullmer *et al.*, 2010, 2011 ; Schmidt *et al.*, 2014 ; de Siqueira *et al.*, 2018). *Casier* (Ullmer *et al.*, 2011) et *Cartouche* (Ullmer *et al.*, 2010) sont ainsi la suite des travaux de Ullmer sur la générisation du principe token+constraint, complétés par le travail de Siqueira *et al.* (2018) sur des *tokens* « soft » (tactile) ou « hard » (tangible). Ces dix articles se concentrent sur les concepts généraux de leur technologie, leur adaptation dans différents cas d'usage et/ou leurs performances techniques. La prise en compte de l'article séminal est donc en général une des fonctionnalités que la technologie permet de mettre en place, parfois en l'augmentant (contraintes 3D continues pour *GaussMarbles* (Kuo *et al.*, 2016), augmentation du nombre de *tokens* détectés dans *Bits & Bricks* de Winder et Larson, 2017) mais l'interaction n'est pas étudiée plus en détails.



Figure 67 : Travaux technologiques et génériques T+C : a) une librairie pour créer des jeux mathématiques pour les enfants (Scarlatos, 2006), b) ToyVision une toolkit pour prototyper des jeux sur table tactile (Marco, Cerezo et Baldassarri, 2012), c) TULIP une toolkit pour l'utilisation d'objets tangibles sur table tactile (Tobias, Maquil et Latour, 2015), d) GaussMarbles une bille magnétique pour des interactions sur tablette (Kuo *et al.*, 2016), e) Bits & Bricks, une matrice tangible interactive basée sur des LEGO™ et de la projection 3D (Winder et Larson, 2017), f) RFIbricks, un système d'assemblage de blocs basé sur le RFID (Hsieh *et al.*, 2018), g) Cartouche, des composants tangibles reprenant le principe de menu tangible (Ullmer *et al.*, 2010), h) Casier, des composants proposant plusieurs *constraints* à positionner sur des surfaces tactiles (Ullmer *et al.*, 2011), i) hard et soft tokens (de Siqueira *et al.*, 2018), j) Kickables, composants pour interagir avec les pieds (Schmidt *et al.*, 2014).

Quatre prototypes correspondent à des usages professionnels (Figure 68) : supervision de système (Jaffe, Dayan et Dekel, 2007), édition vidéo (Zigelbaum *et al.*, 2007) et commerce (Maass et Kowatsch, 2009 ; Van Campenhout *et al.*, 2019). Trois de ces travaux ont évalué les



prototypes présentés, mais uniquement en laboratoire. Quatre autres prototypes se placent dans le cadre de l'enseignement que ce soit de la programmation informatique (Sapounidis, Demetriadis et Stamelos, 2015), de la géométrie (Guerrero *et al.*, 2016), de la musique (Francesconi, Larrea et Manresa-Yee, 2013) ou au travers de jeux sérieux (Mora, Di Loreto et Divitini, 2015). Certains de ses travaux ont été testés en conditions réelles avec des étudiants, mais les expérimentations se sont concentrées sur des critères d'apprentissage.



Figure 68 : Travaux professionnels et éducatifs T+C : a) e-commerce pour les mariés (Maass et Kowatsch, 2009), b) édition vidéo (Zigelbaum et al., 2007), c) interactions riches pour le paiement par carte bleue (Van Campenhout et al., 2019), d) surveillance de systèmes (Jaffe, Dayan et Dekel, 2007), e) programmation d'un robot (Sapounidis, Demetriadis et Stamelos, 2015), f) PrimBox permet l'apprentissage de la géométrie 3D (Guerrero et al., 2016), g) jeux sérieux avec cubes Sifteo comme *tokens* (Mora, Di Loreto et Divitini, 2015), h) apprentissage de la musique, les *tokens* de la première colonne sont les instruments et les autres les notes (Francesconi, Larrea et Manresa-Yee, 2013).

Enfin, cinq articles correspondent à des cas d'usages grand public domestiques (Figure 69) pour la mémorisation et le partage d'URL (Lee *et al.*, 2014) ou de souvenirs (Mosher, 2017), pour jouer des vidéos pour les jeunes enfants (Martinussen, Knutsen et Arnall, 2007) ou de la musique (Sellitsch et Tellioglu, 2014 ; Guo, 2016). Trois de ces travaux ont été testés en contexte d'utilisation réel, plutôt dans une démarche de conception itérative. Un seul article présente un usage dans un espace public (Detken, Martinez et Schrader, 2009), pour les enfants dans une bibliothèque. Il a été évalué en magicien d'Oz. Les manipulations de type T+C ont été simples à utiliser pour les enfants, mais l'impact de cette action sur l'écran n'a pas été compris.

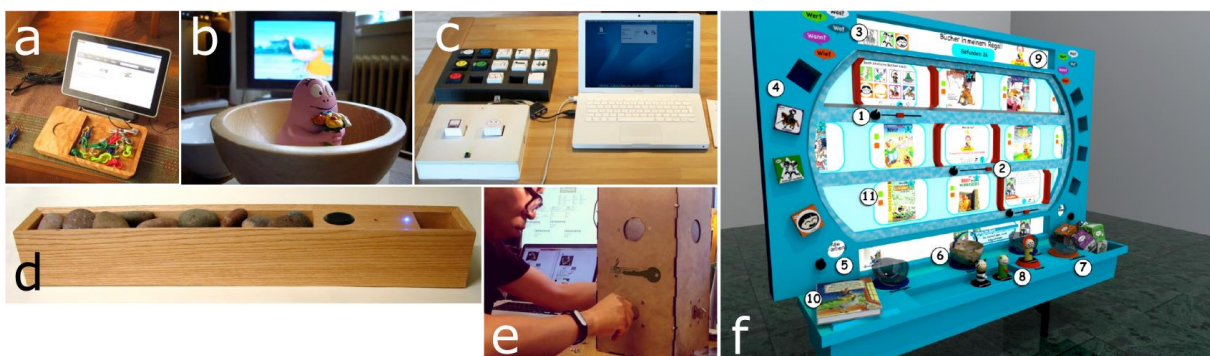


Figure 69 : Travaux pour un usage grand public de T+C : a) Tokens of search permet de partager des URL (Lee et al., 2014), b) Bowl permet de jouer des vidéos (Martinussen, Knutsen et Arnall, 2007), c) un lecteur de musique selon l'humeur du moment (Sellitsch et Tellioglu, 2014), d) enregistrement de souvenirs dans des pierres (Mosher, 2017), e) MeloKey, jouer de la musique avec des clés (Guo, 2016), f) une interface permettant aux enfants de choisir des livres dans une bibliothèque (Detken, Martinez et Schrader, 2009).

Nous avons classé les citations de l'article séminal T+C selon la classification proposée par Girouard *et al.* (2019), soit par ordre d'importance de la citation :

- « *cursor* » ou citation superficielle,
- « *descriptive* » décrivant la méthodologie ou les arguments,
- « *term* » c'est-à-dire utilisant le terme comme un mot courant,
- « *supportive* » pour appuyer un fait,
- « *justification* » pour appuyer un argument,
- « *analysis* » utilisé pour évaluer le travail citant,
- « *critique* » discute les limitations du travail cité,
- « *generative* » où la citation inspire ou éclaire la conception du travail citant.

Par exemple, la citation de l'article Detken, Martinez et Schrader (2009) : « *Les catégories ont été assemblées sous forme de cubes qui peuvent être insérés dans des "contraintes" rectangulaires [réf T+C].* » se positionne dans la catégorie « *term* ». Tandis que la citation de Guo (2016) : « *En utilisant le concept de système token+constraint [ref T+C], différentes clés agissent comme des tokens de l'interaction, tandis que les fentes du dispositif jouent le rôle de contraintes. Ils ont été associés physiquement ainsi qu'à des informations numériques, à savoir les attributs du son.* » correspond au type « *generative* ». Plus généralement, nous avons noté « *term* », les articles où les termes « *token* » et/ou « *constraint* » sont utilisés mais sans aucune explication du concept de base ou de ses avantages. La codification pour les 25 articles se trouve dans la deuxième colonne de la Table 14. Nous avons repris le code coloré de l'article initial de Girouard *et al.* montrant l'importance de l'article cité (en bleu les citations superficielles, en vert celles de bas niveau, en niveaux de rouge celles de haut niveau). Nous pouvons ainsi constater que pour les travaux génériques technologiques, les travaux sont très inspirés de l'article séminal (sept citations de haut niveau dont quatre « *generative* » sur 11 citations), tandis que pour les cas d'application, à peine plus de la moitié s'en inspirent clairement (huit citations de haut niveau, quatre de niveau moyen et deux superficielles).

Nous avons également noté les types d'utilisateur cible pour ces prototypes (quatrième et cinquième colonnes Table 14). 11 articles s'adressent ainsi à tous types d'utilisateurs, sept à des adultes (dont des étudiants) et sept à des enfants, avec une forte majorité pour les cas d'usage multi-utilisateurs (seulement cinq usages seuls sur les 25). Cela rejoint les considérations d'Ullmer *et al.* (2005) sur les avantages de T+C pour la collaboration colocalisée. Cependant, et contrairement à leurs attentes, seuls dix travaux recensent des expérimentations (incluant des prototypes avec au moins une contrainte) avec des utilisateurs finaux que ce soit en conditions réelles (six sur 25) ou même en laboratoire (quatre). La limitation évoquée par Ullmer *et al.* (2005) du faible pourcentage de systèmes avec de vrais tests utilisateur reste donc, à ce jour, toujours valable.

Table 14 : Classification des 25 travaux citant le travail séminal T+C (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). *Type citation* reprend la classification de Girouard et al. (2019). *Domaine* correspond au domaine d'application. *Utilisateurs* indique les utilisateurs cibles. *Nb* indique si le système est multi/mono/dual-utilisateurs. *Test* indique si des tests ont eu lieu en laboratoire (L) ou en conditions réelles (R) avec au moins une contrainte tangible et pour combien d'utilisateurs en même temps. *Technologie* indique la technologie utilisée pour la détection des tokens. *Autonome/Intégré* indique si le système T+C est intégré dans un autre dispositif technique. *Type de données* indique s'il s'agit de données géométriques/spatiales ou abstraites. *A/M* indique si le prototype utilise la phase d'association seule (A) ou avec la phase de manipulation (AM). *NbC* indique le nombre de contraintes (n = plusieurs, NxT = nombre par token).

Article	Type Citation	Domaine	Utilisateurs	Nb	Test	Technologie	Autonome/ Intégré	Type de données	A/M	NbC
<b>Technologies génériques</b>										
Follmer et al. 2013	Generative	Générique	Tous	Multi		Traitement d'image	Intégré avec écran à changement de forme	Divers	AM	n
Scarlatos 2006	Cursory	Enseignement sciences	Enfants	Multi		Traitement d'image	Autonome	Géométriques	A	n
Marco et al. 2012	Generative	Jeux	Enfants	Multi		Reactivation	Intégré sur table tactile	Divers	AM	n
Kuo et al. 2016	Generative	Jeux	Tous	Mono		Magnétisme	Intégré sur tablette	Spatiales	AM	n
Winder et Larson 2017	Critique	Générique	Tous	Multi		Traitement d'image	Autonome (construction par assemblage)	Spatiales	A	n
Hsieh et al. 2018	Term	Jeux	Tous	Multi		RFID modifié	Intégré sur table tactile	Divers	A	n
Tobias et al. 2015	Descriptive	Générique	Tous	Multi		Traitement d'image	Intégré sur table tactile	Abstraites (vote)	A	3
Ullmer et al. 2010	Justification	Générique	Tous	Multi		RFID, code bar, traitement d'image	Intégré sur tablette, table tactile	Abstraites	AM	n
Ullmer et al. 2011	Critique	Générique	Tous	Multi		RFID, tag Surface	Intégré sur table tactile, Tablette	Abstraites	AM	n
Siquiera et al. 2018	Term	Poster scientifiques	Étudiants	Multi		Capacitif	Intégré sur Surface tactile	Abstraites	AM	n
Schmidt et al. 2014	Generative	Générique	Tous	Multi		Détection de la pression, FTIR	Intégré sur plancher rétroprojeté	Abstraites	AM	1

Article	Type Citation	Domaine	Utilisateurs	Nb	Test	Technologie	Autonome/ Intégré	Type de données	A/M	NbC
<b>Cas d'usage concrets professionnels et grand public</b>										
Ziegelbaum et al. 2007	Generative	Montage vidéo	Adultes	Multi	L, 2	Compaq Pocket PC	Intégré dans construction par assemblage	Abstraites (vidéo)	A	2,5 x10
Maas et al. 2009	Cursory	e-commerce	Adultes	Dual	L, 2	RFID	Autonome	Spatiales	A	5
Jaffe et al. 2007	Term	Supervision	Adultes	Multi		LogoChip PIC OpenBoard	Autonome	Abstraites (états)	A	3
Van Campenhout et al. 2019	Cursory	Paiement	Adultes	Dual	L,1		Intégré avec écran et système coulissant	Abstraites (argent)	AM	1
Sapounidis et al. 2015	Generative	Apprentissage informatique	Enfants	Multi	R, 2	Connecteurs D9, D25 et MCU	Intégré dans construction par assemblage + robot Lego	Abstraites (commandes et paramètres)	A	~3x 20
Guerrero et al. 2016	Descriptive	Apprentissage géométrie	Enfants	Multi	R, 2	RFID	Associé à écran LCD	Géométriques	A	1
Mora et al. 2015	Generative	Jeux sérieux	Adultes	Multi	L, 4	Sifteo Cubes	Associé à imprimante, lecteur code barre	Spatiales	A	n
Francesconi et al. 2013	Generative	Apprentissage musique	Enfants	Mono		Traitement d'image	Associé à ordinateur	Abstraites (notes)	A	54
Lee et al. 2014	Generative	Partage d'URL	Famille	Multi	R, 5	RFID	Associé à un écran	Abstraites (URL)	A	1
Martinussen et al. 2007	Generative	Lecture vidéo	Enfants	Mono	R, 1	RFID	Associé à une télévision	Abstraites (vidéo)	A	1
Sellitsch et Tellioglu. 2014	Term	Lecture musique	Adultes	Mono	R, 1	NFC	Associé à un ordinateur	Abstraites (musique)	A	2
Guo. 2016	Generative	Instrument de musique	Tous	Multi		Traitement d'image	Autonome	Abstraites (musique)	AM	4
Mosher. 2017	Generative	Journal intime audio	Tous	Mono		RFID	Autonome	Abstraites (souvenirs)	A	1
Detken et al. 2009	Term	Recherche de livres	Enfants	Dual	R, 2	RFID	Intégré avec écran tactile, imprimante et phidgets	Abstraites (propriétés)	A	8

D'un point de vue technologique, seuls dix travaux utilisent le RFID ou le NFC comme suggéré par l'article séminal : « *la plupart des systèmes utilisant des contacts électriques souffrent de problèmes de fiabilité ; le RFID et d'autres approches sans fil semblent donc préférables pour de futurs systèmes* » (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Trois travaux utilisent des contacts électriques et sept du traitement d'image. Comme évoqué dans l'article séminal, le paradigme T+C peut être utilisé de manière autonome pour des cas d'usage simples ou intégrés dans un système plus complexe. Ainsi six prototypes sont autonomes, six sont utilisés en conjonction avec des écrans ou imprimantes et 13 sont intégrés dans des dispositifs utilisant d'autres technologies (huit avec des surfaces tactiles et deux avec des systèmes par assemblage).

Du point de vue de la syntaxe d'utilisation, la majorité des prototypes (16 sur 25) permettent de manipuler des données « abstraites » au sens de Ullmer et al., c'est-à-dire non basées sur la géométrie et l'espace. Les prototypes utilisent dans leur grande majorité uniquement la phase d'association du paradigme T+C (16 sur 25, et même 12 sur 14 pour les cas d'usage concrets), contrairement aux attentes d'Ullmer et al. d'une plus grande utilisation de la phase de manipulation. Six prototypes utilisent une seule contrainte (Martinussen, Knutsen et Arnall, 2007 ; Lee *et al.*, 2014 ; Schmidt *et al.*, 2014 ; Guerrero *et al.*, 2016 ; Mosher, 2017 ; Van Campenhout *et al.*, 2019) et présentent donc une syntaxe d'usage limitée. Cinq prototypes utilisent des contraintes lâches (Martinussen, Knutsen et Arnall, 2007 ; Maass et Kowatsch, 2009 ; Lee *et al.*, 2014 ; Tobias, Maquil et Latour, 2015 ; Guerrero *et al.*, 2016) qui ne tirent pas pleinement parti de la notion de *constraints*. En effet, une contrainte lâche par rapport à la taille du *token* utilise moins les retours haptiques passifs et ne permet pas d'utiliser la forme des *constraints* et *tokens* pour exprimer leur compatibilité (deux points forts évoqués par Ullmer et al.), cependant cela peut permettre des usages simples pour les enfants par exemple. Nous pensons que ces travaux et les suivants pourraient être enrichis par une réflexion plus poussée sur l'adéquation avec le paradigme T+C et le respect ou non de ces propriétés. Cependant, l'article original est très dense et ne rend pas aisé une telle analyse. Nous proposons donc de synthétiser et reprendre sous forme de grille heuristique l'article séminal de Ullmer et al. À notre connaissance, aucuns travaux de ce type n'existent à ce jour.

### 5.2 Grille heuristique de conception

Afin de construire une grille heuristique pour la conception d'interactions de type token+constraint nous avons parcouru de manière systématique l'article séminal (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) pour extraire les différents types de propriétés énoncés. Nous nous sommes concentrés sur les chapitres présentant le paradigme (*ibid.* chapitre 2.1), les bénéfices (*ibid.* chapitre 2.3) et l'approche de T+C sous la perspective des cinq questions de Bellotti *et al.* (2002)(*ibid.* chapitre 5).

Le chapitre 2.1 (*ibid.*) décrit les différentes composantes du concept T+C. Il définit ainsi les *tokens* comme étant des objets physiques mobiles et les *constraints* comme des zones restreintes dans lesquelles les *tokens* peuvent être placés. Les *constraints* contraignent ainsi physiquement les *tokens* qu'ils reçoivent en autorisant au maximum un seul degré de liberté pour leur manipulation (translation ou rotation). Le paradigme permet ainsi deux phases

d'interaction : association (placer le *token* dans la *constraint*) et manipulation (selon le degré de liberté potentiellement restant), cette dernière étant optionnelle (Figure 70).

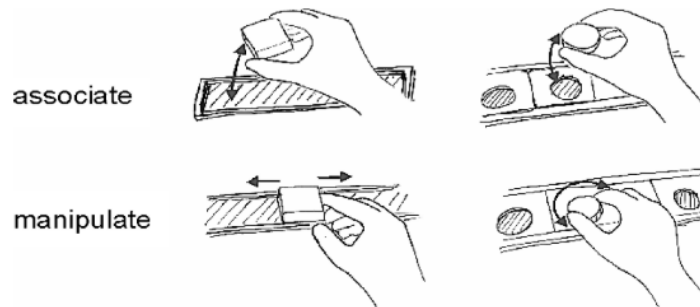


Figure 70 : Illustration des deux phase d'association et de manipulation de T+C. Source : (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005)

Les *tokens* incarnent en général des données numériques, tandis que les *constraints* peuvent incarner des opérations numériques à leur appliquer. De cette première définition nous pouvons donc extraire des propriétés obligatoires et optionnelles des systèmes T+C afférentes à la composition générale (Table 15).

Table 15 : Propriétés de composition générale des interfaces T+C

	Composition générale	Obligatoire	Oui/Non
Pg1	L'interface présente au moins un objet physique mobile ( <i>token</i> )	*	
Pg2	Un <i>token</i> incarne une donnée numérique		
Pg3	L'interface présente au moins une zone restreinte mécaniquement dans laquelle un <i>token</i> peut être placé ( <i>constraint</i> )	*	
Pg4	Une <i>constraint</i> incarne une opération numérique		
Pg5	L'utilisateur peut placer un <i>token</i> dans une <i>constraint</i> limitant sa manipulation à un degré de liberté maximum. Cette association est interprétée par le système	*	
Pg6	L'utilisateur peut manipuler un <i>token</i> à l'intérieur d'une <i>constraint</i> selon un seul degré de liberté (translation, rotation). Cette manipulation est interprétée par le système		

Dans le chapitre 2.3, l'article décrit plus précisément les forces de l'approche T+C par rapport aux interfaces de type « *surface interactive* » en insistant sur les bénéfices apportés par les *constraints*. Les auteurs mentionnent que ces bénéfices ne sont pas forcément toujours présents, en fonction de la conception précise du système, et que certains d'entre eux mériteraient des validations empiriques. Ils notent ainsi que les contraintes physiques : 1) augmentent les retours haptiques passifs, 2) augmentent les possibilités d'inclure des retours de forces actifs, 3) diminuent la demande d'attention visuelle, 4) augmentent la conscience kinesthésique, 5) augmentent les possibilités d'intégrer le système et 6) permettent l'utilisation de technologies de détection flexibles et facilement accessibles. Selon nous, les points 3 et 4 correspondent à des propriétés de l'usage et nécessitent donc des validations empiriques pour définir si elles sont présentes dans le système. Nous classons ces bénéfices en trois ensembles : les propriétés des interactions (Pc1-2, Table 16), les propriétés d'implémentation (Pi1, Pi2 Table 17) et les propriétés nécessitant une validation expérimentale (Pu1, Pu2, Table 18).

## Chapitre 5. Le paradigme d'interaction tangible Token+Constraint

Table 16 : Propriété des interactions des interfaces T+C

	<i>Interactions</i>	<i>Obligatoire</i>	<i>Oui/Non</i>
Pc1	Les <i>constraints</i> de l'interface utilisent des retours haptiques passifs	*	
Pc2	L'interface utilise des retours de force actifs		
Pc3	L'interface permet des interactions non détectées par le système	*	
Pc4	L'interface permet de manipuler plusieurs <i>tokens</i> en même temps		
Pc5	La zone d'interaction est clairement définie par les <i>constraints</i>	*	
Pc6	L'interface utilise des feedbacks pour chaque entrée, sortie et/ou mouvement de <i>token</i> dans une <i>constraint</i> . Leur incarnation est 1) distante, 2) environnementale, 3) proche, 4) totale	*	

Table 17 : Propriétés d'implémentation des interfaces T+C

	<i>Implémentation</i>	<i>Obligatoire</i>	<i>Oui/Non</i>
Pi1	L'interface utilise des technologies de détection flexibles et facilement accessibles	*	
Pi2	L'interface est embarquée		
Pi3	L'interface utilise les <i>constraints</i> pour simplifier la détection des états du système	*	
Pi4	Les <i>constraints</i> déterminent un nombre restreint d'états finis pour le système	*	
Pi5	Les <i>tokens</i> sont tagués avec des ID uniques	*	
Pi6	L'interface utilise des technologies de capteurs robustes	*	

Table 18 : Propriétés d'usage nécessitant une validation expérimentale

	<i>Usage (nécessitant une expérimentation)</i>	<i>Obligatoire</i>	<i>Oui/Non</i>
Pu1	L'interface diminue le besoin d'attention visuelle		
Pu2	L'interface améliore la conscience kinesthésique		
Pu3	L'interface permet d'externaliser la charge cognitive		

Table 19 : Propriétés ayant trait à la syntaxe numérique T+C

	<i>Syntaxe</i>	<i>Obligatoire</i>	<i>Oui/Non</i>
Ps1	L'interface utilise les caractéristiques physiques des <i>constraints</i> (comme la forme et la taille) pour indiquer quels sont les <i>tokens</i> compatibles ou incompatibles	*	
Ps2	L'interface utilise les <i>constraints</i> pour limiter mécaniquement les configurations possibles de <i>tokens</i>	*	
Ps3	Les différentes fonctions algorithmiques sont incarnées dans des <i>constraints</i> séparées	*	

La suite du chapitre 2.3 (*ibid.*) liste un ensemble de bénéfices ayant rapport à l'incarnation de la syntaxe numérique (Table 19). Les formes physiques des *constraints* permettent en effet d'exprimer la compatibilité – voir d'empêcher physiquement les incompatibilités – entre les informations (*tokens*) et les opérations numériques (*constraints*) (Ps1). Elles permettent

également de restreindre le positionnement des *tokens* à un nombre de configurations ayant un sens algorithmique défini (Ps2). Enfin les démarcations claires des *constraints* permettent de délimiter les différentes fonctions algorithmiques (Ps3).

Les auteurs poursuivent ensuite la liste des bénéfices du point de vue de l'usage et de l'implémentation, ce qui nous permet d'enrichir les tables 16 à 18. Dans ce qu'ils nomment « *Human perception* », ils indiquent que les *constraints* permettent d'externaliser la charge cognitive. Pour reformuler plus précisément cette propriété, il faut se référer au chapitre 3.2.1, qui explique entre autres l'utilité des actions de type exploratoire (par opposition aux actions performatives) dans la cognition humaine. La possibilité d'interagir sans que cela ne soit interprété par le système (« *out-of-band interaction* ») permet des actions exploratoires. Ainsi selon les auteurs, la distinction claire entre zones de manipulation libres d'interprétation (en dehors des *constraints*) et zones monitorées par le système (dans les *constraints*) permet aux utilisateurs de réaliser plus facilement des actions exploratoires et facilite donc la cognition (nous ajoutons donc Pc3). Celle-ci n'est pas la seule explication, nous avons donc également inscrit l'externalisation de la charge cognitive dans les propriétés à tester (+Pu3). Les auteurs indiquent également que T+C « *support perceptual chunking of object aggregates* », nous ne sommes pas sûrs de l'interprétation à donner à cette phrase, dont nous n'avons pas trouvé mention ailleurs dans l'article, nous ne l'avons donc pas reportée dans la grille. Dans l'item de liste suivant, nommé « *Human manipulation* », les auteurs reviennent sur les propriétés kinesthésiques et haptiques évoquées ci-dessus (Pc1, Pu2) et notent que les *constraints* peuvent permettre de manipuler des agrégations de plusieurs objets physiques, en manipulant la *constraint* qui les contient ou en poussant plusieurs *tokens* à la fois (+Pc4). Ils abordent ensuite les avantages d'implémentation (fiabilité, flexibilité, réduction des erreurs) venant du nombre restreint d'états finis du système (+Pi4) pouvant être détectés simplement grâce aux *constraints* (+Pi3).

Bellotti *et al.* (2002) se sont inspirés de l'analyse des interactions humain-humain pour proposer un ensemble de cinq questions pour encadrer la conception de nouvelles interactions basées sur des capteurs (TUI ou informatique ubiquitaire. Ullmer *et al.* détaillent dans le chapitre 5 les avantages de l'approche T+C par rapport à d'autres systèmes de détection et explicitent ainsi certaines propriétés supplémentaires. Selon eux, le paradigme token+constraint permet tout particulièrement de répondre aux questions « *d'adressage* », « *d'attention* » et « *d'action* » et plus difficilement à celles « *d'alignement* » et « *d'accident* » (*ibid.* chapitre 5, p.106). Nous étudions les réponses conceptuelles et technologiques apportées afin d'extraire des propriétés complémentaires. Pour la première question *d'adressage* du système, les zones de captation étant clairement définies par les contraintes (+Pc5), le système sait qu'il est adressé à partir du moment où un *token* est placé dans une *constraint*. Pour la deuxième question de *l'attention* accordée à l'utilisateur, celui-ci sait que le système répond à sa demande car l'insertion, le mouvement et le retrait d'un *token* dans une *constraint* entraînent des feedbacks lorsque ceux-ci sont interprétés par le système (+Pc6). Ceux-ci peuvent être de type visuel (écran, LED, projection), audio ou mécanique (mouvement, retour de force) par exemple. La syntaxe du système T+C permet en général de définir à quel objet *l'action* de l'utilisateur se réfère (Pg2, Pg4). Ceci est rendu possible concrètement par des tags contenus dans les *tokens* qui



permettent d'associer de manière unique les données physiques et numériques (+Pi5). Pour les *constraints*, l'identification par des tags n'est nécessaire que si ceux-ci sont reconfigurables. L'*alignement* du système avec les objectifs de l'utilisateur est garanti par les mêmes feedbacks que pour l'*attention* (Pc6), toutefois si un résultat final plus complexe doit être affiché, il l'est souvent à côté du système T+C, sur un écran par exemple. Cela pose le problème – également présent en tangible en général – de l'écart entre le lieu de l'action et celui de l'affichage du résultat. Nous proposons donc d'intégrer une échelle dans la propriété Pc6 indiquant l'éloignement entre le lieu d'action et d'affichage du résultat, en s'inspirant de l'échelle « d'incarnation » de Fishkin (2004) : 1) distante, 2) environnementale, 3) proche, 4) totale. Enfin concernant la question de l'*accident*, les systèmes T+C réduisent en général les erreurs possibles de l'utilisateur grâce à leur syntaxe d'usage (Ps1, Ps2). Toutefois, la gestion des cas d'erreurs dues à la sémantique d'usage n'est souvent pas assez traitée selon les auteurs. Des feedbacks visuels, audios et mécaniques trouvent ici encore leur utilité (Pc6). Les erreurs techniques peuvent être quant à elles limitées par l'utilisation de technologies de capteurs robustes (+Pi6), comme le RFID ou des technologies de détection sans fil, même si celles-ci ne permettent parfois pas de détecter plusieurs tags à la fois ce qui peut amener des erreurs.

Cette analyse nous permet ainsi de dégager une grille heuristique de 24 items (Tables 15 à 19), obligatoires ou optionnels, permettant de guider la conception de systèmes token+constraint. Ce travail d'interprétation est une reformulation pragmatique et opérationnelle de l'article séminal, orienté selon notre compréhension de celui-ci, qui mériterait d'être approfondi dans un travail avec d'autres chercheurs, dans l'idéal les auteurs de l'article séminal eux-mêmes qui sont les plus à même d'explicitier les subtilités de celui-ci.

### 5.3 Cas d'étude

Nous illustrons l'utilisation de la grille définie dans la section précédente avec deux prototypes de la thèse appartenant au paradigme token+constraint : *MuseoTUI* (Chapitre 3) et *Build Your Own Hercules (BYO Hercules)* (Chapitre 4). Nous avons également choisi deux prototypes issus de la SLR pour lesquels nous avons relevé des questions de conception dans la section 5.1 (largeur et nombre des *constraints*), et utilisant des citations de niveau plus élevé que « *term* » : *PrimBox* (Guerrero *et al.*, 2016), qui cite Ullmer *et al.* de manière « *descriptive* » et *Tokens of Search* (Lee *et al.*, 2014) qui le cite de manière « *generative* ». Les résultats sont visibles Table 20, et sont discutés ci-après.

## Chapitre 5. Le paradigme d'interaction tangible Token+Constraint

Table 20 : Application de la grille heuristique T+C à quatre cas d'usage : MuseoTUI, Build Your Own Hercules, Primbox et Tokens of Search. √ indique oui et × rouge indique non.

		Museo TUI	BYO Hercules	PrimBox	Tokens of Search	
<b>Composition générale</b>						
Pg1	L'interface présente au moins un objet physique mobile ( <i>token</i> ).	*	√	√	√	√
Pg2	Un <i>token</i> incarne une donnée numérique.		√	√	√	√
Pg3	L'interface présente au moins une zone restreinte mécaniquement dans laquelle un <i>token</i> peut être placé ( <i>constraint</i> ).	*	√	√	√	√
Pg4	Une <i>constraint</i> incarne une opération numérique.		√	√	√	√
Pg5	L'utilisateur peut placer un <i>token</i> dans une <i>constraint</i> (association) limitant sa manipulation à un degré de liberté maximum. Cette association est interprétée par le système.	*	√	√	×	×
Pg6	L'utilisateur peut manipuler un <i>token</i> à l'intérieur d'une <i>constraint</i> selon un seul degré de liberté (translation, rotation). Cette manipulation est interprétée par le système.		×	×	×	×
<b>Syntaxe</b>						
Ps1	L'interface utilise les caractéristiques physiques des contraintes (comme la forme et la taille) pour indiquer quels sont les <i>tokens</i> compatibles.	*	√	√	×	√
Ps2	L'interface utilise les <i>constraints</i> pour limiter mécaniquement les configurations possibles de <i>tokens</i> .	*	√	√	×	√
Ps3	Les différentes fonctions algorithmiques sont incarnées dans des <i>constraints</i> séparées.	*	√	√	√	√
<b>Interactions</b>						
Pc1	Les <i>constraints</i> de l'interface utilisent des retours haptiques passifs.	*	√	√	√	√
Pc2	L'interface utilise des retours de force actifs.		×	×	×	×
Pc3	L'interface permet des interactions non détectées par le système.	*	√	√	√	√
Pc4	L'interface permet de manipuler plusieurs <i>tokens</i> en même temps.		×	×	×	×
Pc5	La zone d'interaction est clairement définie par les <i>constraints</i> .	*	√	√	√	√
Pc6	L'interface utilise des feedbacks supplémentaires (audio, visuel, mécanique) pour chaque entrée, sortie et/ou mouvement de <i>token</i> dans une <i>constraint</i> . Leur incarnation est 1) distante, 2) environnementale, 3) proche, 4) totale.	*	√ (4)	√ (3,1)	√ (1)	√ (1)
<b>Implémentation</b>						
Pi1	L'interface utilise des technologies de capteurs flexibles et facilement accessibles.	*	√	√	√	√
Pi2	L'interface est embarquée.		×	√	×	×
Pi3	L'interface utilise les <i>constraints</i> pour simplifier la détection des états du système.	*	√	√	√	√
Pi4	Les <i>constraints</i> déterminent un nombre restreint d'états finis pour le système.	*	√	√	√	√
Pi5	Les <i>tokens</i> sont tagués avec des ID uniques.	*	√	√	√	√
Pi6	L'interface utilise des technologies de capteurs robustes.	*	√	√	√	√
<b>Usage (nécessitant une expérimentation)</b>						
Pu1	L'interface diminue le besoin d'attention visuelle.					
Pu2	L'interface améliore la conscience kinesthésique.					
Pu3	L'interface permet d'externaliser la charge cognitive.					

### 5.3.1 MuseoTUI



Figure 71 : Le prototype MuseoTUI

*MuseoTUI* (Figure 71) permet de manipuler des figurines (Pg1) incarnant les valeurs des caractéristiques des visiteurs (Pg2) afin de composer un profil pour lequel créer un parcours de visite personnalisé. Chaque colonne de MuseoTUI présente des ouvertures (Pg3), une même forme correspond à une même caractéristique (Ps1). Lorsque les *tokens* sont placés/enlevés dans les *constraints* de la zone de sélection (Pg5), ceux-ci sont ajoutés/retirés au profil (Pg4) et des LED indiquent à quel point celui-ci a été traité. Lorsqu'ils sont placés dans les *constraints* de la zone de stockage (Pg5), le système indique à quel point ils ont été pris en compte en combinaison avec le profil courant. Ce prototype remplit toutes les propriétés obligatoires, et peut donc être défini comme de type token+constraint. Il bénéficie ainsi de l'incarnation de la syntaxe d'interaction (propriétés Ps1 à Ps3), ce qui a été validé par la bonne compréhension des utilisateurs lors de l'expérimentation. Il utilise des technologies simples et fiables, grâce à l'utilisation des *constraints* pour limiter les zones de détection et simplifier les états possibles du système (propriétés Pi1 à Pi6), ce qui permet au prototype d'être flexible et adaptable en fonction des musées. Il bénéficie également de la possibilité de réaliser des interactions *out-of-band* (Pc3), ce qui faciliterait les interactions épistémiques et supporterait le processus de réflexion et de création des médiateurs. Ce point pourrait faire l'objet d'une expérimentation adéquate (Pu3). Parmi les propriétés non satisfaites, deux nous donnent des pistes de conception au regard des retours de nos utilisateurs. Premièrement, ce prototype n'est pas embarqué (Pi2). Certains utilisateurs ont indiqué lors des tests qu'un des freins pour l'utiliser au quotidien est qu'il faille le sortir du placard et le re-ranger à chaque utilisation. Nous pensons que si le prototype était mieux intégré dans leur environnement de travail (dans une table ou un tableau par exemple), cela pourrait les inciter à l'utiliser plus, même pour de courtes périodes de temps. Deuxièmement, le prototype ne permet pas de manipuler plusieurs *tokens* en même temps (Pc4). Lors des expérimentations, certains utilisateurs ont préféré la tablette tactile car elle offrait la possibilité d'un bouton « reset » pour ranger toutes les figurines d'un coup dans la zone de stockage. L'utilisation d'un « rack » pour chaque colonne de MuseoTUI (au lieu de 3 à 6 ouvertures circulaires organisées en colonne), aurait pu permettre de ramener vers soi d'un seul mouvement du bras (englobant tous les racks) toutes les figurines. Cependant la distinction fonctionnelle entre sélection et stockage aurait alors été moins claire (Ps3).

### 5.3.2 Build Your Own Hercules

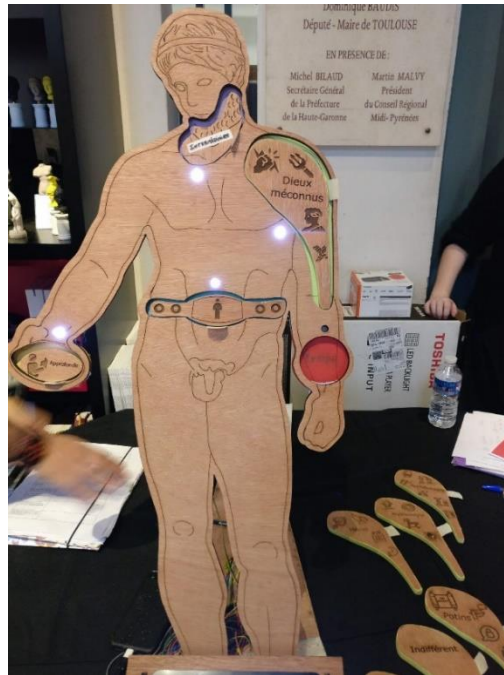


Figure 72 : Le prototype Build Your Own Hercules

*BYO Hercules* (Figure 72) permet de manipuler des pièces (Pg1) incarnant les différentes valeurs possibles pour les caractéristiques visiteur (Pg2). Une reproduction de statue d'Hercule présente différentes zones creuses (Pg3) dans lesquelles les pièces peuvent se placer (Pg5). Chaque zone a une forme différente correspondant au choix d'une caractéristique différente (Pg4, Ps1). Ce prototype comprend toutes les propriétés indiquées comme obligatoires et peut donc être considéré comme relevant du paradigme T+C. Il bénéficie donc de l'incarnation de la syntaxe d'interaction (propriétés Ps1 à Ps3), ce qui a été validé par la bonne compréhension des visiteurs lors de l'expérimentation, qui l'ont comparé à un puzzle. *BYO Hercules* utilise des technologies simples et fiables (propriétés Pi1 à Pi6), ce qui nous a permis de déployer rapidement un prototype suffisamment fiable pour le tester dans le contexte final. Cela nous a de plus permis d'embarquer le système (Pi2) dans une représentation pertinente et cohérente avec l'espace du musée (une statue antique pour un musée d'archéologie). Il bénéficie également de la possibilité de réaliser des interactions *out-of-band* (Pc3), ce qui faciliterait les interactions épistémiques et la discussion au sein des groupes de visiteurs. Ce point pourrait faire l'objet d'une expérimentation adéquate (Pu3). Il n'inclut cependant pas de retours actifs de force (Pc2). Ce type de dispositif pourrait être utilisé non pas pour du feedback mais pour faire retomber les pièces en dehors des *constraints* une fois le choix de parcours effectué et régler ainsi le problème de remise à zéro du système. Cependant cela complexifierait la technologie à utiliser (Pi1). L'interface utilise des LED à côté de chaque *constraint* (Pc6, incarnation=3) et un écran disposé au pied du Hercule pour indiquer les parcours résultants du choix des visiteurs (Pc6, incarnation=1). Certains visiteurs ont été perturbés par la présence de deux interfaces dans le dispositif, ne sachant pas par laquelle commencer. Une projection directement sur la statue de Hercule (par exemple dans une bulle à côté de son visage) pourrait permettre de régler ce problème, cela correspondrait alors à un niveau 3 (proche) pour l'incarnation de la propriété Pc6.

### 5.3.3 PrimBox (Guerrero *et al.*, 2016)



Figure 73 : Le prototype PrimBox, image extraite de (Guerrero *et al.*, 2016)

*PrimBox* (Figure 73) permet d'utiliser des formes géométriques en 3D (Pg1) qui incarnent ces mêmes formes dans un environnement 3D virtuel grand public (Pg2). Lorsqu'une forme est placée dans une boîte (Pg3), celle-ci est ajoutée dans l'environnement virtuel (Pg4). L'utilisateur peut ensuite modifier des propriétés de ces objets en plaçant une carte (position, taille, couleur, rotation) sur un lecteur RFID à côté et en actionnant des *sliders* sur les côtés de la boîte (Guerrero *et al.*, 2016). Les photos et la description de l'article ne permettent pas de se rendre compte de la taille relative des formes par rapport à la boîte, mais il semblerait que celle-ci soit beaucoup plus grande et ne restreigne donc pas leurs degrés de liberté (Pg5, critère obligatoire). Cette non-restriction pourrait devenir une propriété de conception si la phase de manipulation était utilisée pour modifier la position et la rotation des objets 3D (Pg6), plutôt que d'utiliser les *sliders*. Cette taille et forme de boîte ne permet pas non plus de distinguer si celle-ci est réservée aux formes 3D ou peut aussi accueillir les cartes propriétés (Ps1) et si l'utilisateur peut placer un ou plusieurs objets à l'intérieur (Ps2). La grille heuristique permet ainsi de relever des points d'utilisabilité qui pourraient potentiellement être améliorés et donne des pistes de conception pour que ce prototype puisse être classé comme token+constraint et bénéficie des propriétés évoquées par Ullmer *et al.*

5.3.4 Tokens of Search (Lee *et al.*, 2014)

Figure 74 : Le prototype Tokens of Search, image extraite de (Lee et al., 2014).

*Tokens of Search* (Figure 74) utilise trois types d'objets (nœud, corde et autocollant) (Pg1) permettant de mémoriser une URL (Pg2). Le système comprend également un plateau en bois avec une zone de stockage et une zone circulaire de lecture des tags RFID (Pg3) qui permet d'ouvrir l'URL associée (Pg4) sur un écran tactile (Lee *et al.*, 2014). La forme circulaire de la *constraint* permettant de lire les *tokens* autorise de les bouger dans toutes les directions, elle ne contraint donc pas leur manipulation à un degré de liberté (Pg5). Cependant sa taille permet de placer un seul token à la fois (Ps2) et tous les *tokens* sont compatibles avec la *constraint* (Ps1), la syntaxe d'usage reste donc plus claire qu'avec *PrimBox*. Le plateau en bois constitue un objet supplémentaire à positionner dans la maison et n'est pas intégré dans les différents lieux d'usage possibles selon les types de site web mémorisés (Pi2), ce qui a été remonté comme une limitation par les familles ayant testé ce système. Les utilisateurs ont également dû mettre en place des stratégies pour séparer les *tokens* déjà associés à des URL des *tokens* vides. L'utilisation de plusieurs zones de rangement, *constraints* non associées à une fonction numérique (Pc3), pourrait ici permettre des usages plus fins. Cela se rapproche de l'exemple des soucoupes étiquetées de la Marble Answering Machine (Bishop, 1992), décrit par Ullmer et al. comme un usage convaincant des interactions « *out-of-band* » dans le paradigme T+C.

## 5.4 Discussion

Les exemples précédents montrent plusieurs cas d'usage potentiels de la grille heuristique. Les propriétés de composition générale (Pg1 à Pg6) ainsi que de syntaxe (Ps1 à Ps3) peuvent ainsi permettre de décrire les prototypes selon le paradigme T+C de manière normalisée. Elles peuvent également permettre de comparer les prototypes. Ainsi nous avons constaté que les syntaxes de nos deux prototypes (*MuseoTUI* et *BYO Hercules*) sont très proches, les deux

incarnant les valeurs des caractéristiques dans des *tokens*, et le choix de ces caractéristiques dans des *constraints*. MuseoTUI présente néanmoins une fonctionnalité supplémentaire avec l'aide au choix de valeurs de caractéristiques à prendre en compte qui se reflète à travers la présence de *constraints* supplémentaires dans la zone de stockage. Ces propriétés nous ont également permis de comparer la syntaxe de *PrimBox* et de *Tokens of Search*, la deuxième étant plus explicite que la première. La notion de critères obligatoires pourrait également nous permettre de déterminer si un prototype peut ou non se ranger dans la catégorie T+C selon s'il coche toutes les propriétés obligatoires. Cependant selon ces critères ni *PrimBox* ni *Tokens Of Search* n'appartiennent à ce paradigme, or nous avons pu voir que dans le deuxième cas la syntaxe est tout de même respectée. Cela nous fait nous interroger sur le poids à donner à la limitation à un seul degré de liberté dans la propriété Pg5.

Les propriétés d'interaction (Pc1 à Pc6) peuvent permettre de réfléchir aux usages et de faire remonter des problèmes d'utilisabilité ou des opportunités d'extension avant de mener des expérimentations avec les utilisateurs finaux. Toutes les propriétés ne nécessitent pas d'être remplies, certaines étant d'ailleurs parfois contradictoires (Pc4 : manipulation de plusieurs *tokens* en même temps et Pc5 : définition claire de la zone d'interaction, par exemple), cependant le fait de réfléchir explicitement à laquelle privilégier peut permettre de faire des choix de conception éclairés. Les propriétés d'implémentation, quant à elles, peuvent permettre de guider la phase de développement afin de garantir fiabilité et flexibilité au prototype. Enfin les propriétés d'usage ne sont pas du même ordre que les autres puisqu'elles nécessitent une validation expérimentale, mais leur présence peut inciter les chercheurs travaillant sur des interfaces de type T+C à les tester empiriquement et ainsi faire évoluer la connaissance générale sur ce paradigme et ses propriétés.

Nous avons utilisé la taxonomie de Fishkin (2004) pour préciser la notion d'incarnation des feedbacks dans le paradigme T+C en termes de distance entre l'entrée et la sortie (Pc6, Table 16). Cette taxonomie possède un deuxième axe que nous n'avons pas utilisé ici : celui de la métaphore, allant du niveau « aucune métaphore » à « métaphore complète » en passant par les métaphores de « nom » (la forme est similaire à un objet réel), de « verbe » (l'action est similaire à une action dans le monde réel) et de « nom et verbe » (la forme et l'action sont similaires à celles d'un objet de la vie réelle). Ullmer et al. (2005) se concentrent en effet sur des données abstraites qui n'ont pas de représentations physiques, les métaphores sont donc très peu employées dans les exemples donnés dans l'article séminal (à l'exception de ToonTown). Au contraire même, les travaux de Ullmer se sont poursuivis en généralisant encore plus les formes pour créer des widgets génériques similaires aux menus en GUI (*Casiers*, *Cartouche*). Cependant, nous constatons que beaucoup d'exemples issus de la SLR, ainsi que nos propres travaux, utilisent des *tokens* figuratifs (formes géométriques, personnages, pierres, clés, etc.) et – moins souvent – des *constraints* figuratives (maison de poupée, puzzle). Il pourrait donc être intéressant de croiser également les propriétés de notre heuristique avec cet axe supplémentaire. Potentiellement, la propriété Pg2 sur l'incarnation d'une donnée dans un *token* pourrait être rapprochée avec la métaphore de nom, et Pg4 sur l'incarnation de l'action dans une *constraint* avec la métaphore de verbe. Même si cela va largement au-delà du concept initial de token+constraint et s'éloigne de la ligne directrice suivie par ses auteurs, cette direction nous paraît prometteuse.

## 5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés au paradigme token+constraint et à son utilisation dans le domaine des TUI depuis sa caractérisation en 2005 (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). Pour répondre à la question Q1, une revue systématique de la littérature nous a permis de montrer que même s'il était largement cité, peu de prototypes relevant réellement du paradigme avaient été conçus (30%) et encore moins testés dans des conditions réelles (12%). Nous avons également relevé qu'il était complexe de statuer sur l'adéquation d'un prototype avec le paradigme initial ou de tirer pleinement parti de toutes ses propriétés, potentiellement à cause de la densité de l'article séminal. Pour répondre à la question Q2, nous avons donc proposé une grille heuristique de 24 propriétés réparties en cinq catégories reformulant les travaux de l'article séminal. Celle-ci permet ainsi de décrire les solutions selon le vocabulaire T+C, de déterminer leur adéquation au concept, de comparer plusieurs prototypes selon les propriétés du paradigme et de guider la conception et le développement de systèmes token+constraint. La dernière partie de la grille heuristique incite en outre à tester empiriquement ses bénéfices théoriques. Nous avons démontré l'utilité de cette grille sur quatre exemples, deux tirés de nos travaux de thèse (Q3) et deux tirés de la revue systématique de littérature. Nous espérons que cette reformulation des travaux fondamentaux de Ullmer et al. permette à d'autres de concevoir, développer et évaluer des systèmes qui tirent pleinement parti de la richesse de ce concept et qui puissent faire avancer les connaissances théoriques sur ce paradigme en l'étayant de travaux empiriques.





# Chapitre 6

---

Suivi des parcours de visite personnalisés par les  
visiteurs



Li Hongbo – *Bust of David*, 2015

6. Suivi des parcours de visite personnalisés par les visiteurs .....	155
6.1. Analyse .....	156
6.1.1. Interactions mobiles et guidage des visiteurs .....	156
6.1.2. Exigences et recommandations.....	157
6.2. Conception d'un outil de suivi de parcours de visite personnalisés .....	159
6.2.1. Accompagner la marche : le Bourdon de Visite .....	159
6.2.2. Guider les visiteurs : la Brochure du Maraudeur .....	160
6.2.3. Plateforme de développement et d'expérimentation .....	163
6.3. Discussion.....	166
6.4. Conclusion .....	167

Publication associée :

(Soumission en cours) Stephanie Rey, Anke M. Brock, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture. Guiding visitors in museums with calm interactions. *In Proceedings of the 4th European Tangible Interaction Studio (ETIS 2020)*.

## 6. Suivi des parcours de visite personnalisés par les visiteurs

---

Dans les précédents chapitres nous avons étudié comment assister les médiateurs culturels dans la création des parcours de visite personnalisés pour de nombreux profils visiteur puis comment aider les visiteurs à choisir le parcours qui leur correspond parmi les nombreux parcours proposés. Une fois ce parcours choisi, reste la question de son suivi par les visiteurs. Comment les guider dans le musée le long de l'itinéraire prévu sans que ce guidage ne prenne le pas sur leur expérience sensorielle du musée et ne détourne leur attention des expôts ? L'enjeu est de compléter l'espace physique du musée et de se superposer à l'existant sans occulter les œuvres ou l'architecture de l'espace. Les technologies mobiles (comme les applications sur smartphone ou les guides multimédias) détournent notre attention de l'environnement qui nous entoure (McCullough, 2012). Dans un contexte de musée, ces guides peuvent donc couper les visiteurs du contenu présenté (Petrelli *et al.*, 2013). Ceci rejoint les réflexions de Weiser et Brown (1997) sur les « *technologies calmes* » et la nécessité pour l'informatique ubiquitaire de se fondre dans le quotidien en opérant à la *périphérie* de l'attention. Ils définissent la *périphérie* comme « *ce dont nous sommes conscients sans pourtant nous en préoccuper explicitement* ». Une *technologie calme* permet alors de passer simplement d'une *attention centrale* à une *attention périphérique*, et vice-versa, et d'enrichir cette périphérie de détails informatifs permettant d'abaisser la charge cognitive de l'utilisateur (Weiser et Brown, 1997). Bakker et Niemantsverdriet (2016) étendent la notion d'*interaction périphérique* pour prendre en compte tout le continuum interaction-attention allant des interactions focalisées (*focused*) aux interactions implicites (*implicit*) en passant par les interactions périphériques (*peripheral*). Une *technologie calme* doit ainsi permettre à l'utilisateur de passer simplement d'un niveau d'attention à l'autre en fonction de ses besoins, de son objectif et du contexte. Ces différents niveaux sont pertinents pour notre cas d'usage où le visiteur a besoin d'être guidé pendant sa visite du musée, d'avoir de l'information culturelle sur les œuvres et son parcours, et d'effectuer des actions ponctuelles plus explicites comme par exemple marquer une œuvre qu'il a appréciée, demander plus d'information ou modifier son parcours. Les TUI sont particulièrement appropriées pour les interactions périphériques (Edge et Blackwell, 2009 ; Couture, 2010b ; Bakker, van den Hoven et Eggen, 2015 ; Bakker et Niemantsverdriet, 2016) puisque les éléments tangibles sont en général accessibles directement (contrairement à un smartphone qu'il faut déverrouiller ou sortir de veille), nécessitent moins d'attention visuelle et permettent des interactions cohérentes tout au long du continuum interaction-attention. Nous explorons donc l'apport des interactions tangibles pour le guidage des visiteurs dans les musées une fois le parcours personnalisé choisi. Ce chapitre présente des travaux en cours sur ce sujet, initiés lors d'un workshop sur l'Internet Of Tangible Thing (IOTT) à TEI'18 (Angelini *et al.*, 2018) en groupe avec Mikko Kytö et Tanja Döring et approfondis par la réalisation d'une plateforme de prototypage lors d'un projet tuteuré d'étudiants en troisième année à l'ESTIA (Raphaël Ollando, Thibault Martin et Cédric Barbin).

Ce chapitre explore les réponses à la question de recherche suivante :

Q1 : Comment guider les visiteurs le long de l'itinéraire prévu sans que ce guidage ne prenne le pas sur leur expérience de la visite du musée et ne détourne leur attention des expôts ?

## 6.1. Analyse

Afin de faire émerger des exigences et recommandations pour la conception et le développement d'outils de guidage des visiteurs dans le musée, nous avons analysé les travaux de recherche existants sur le sujet.

### 6.1.1. Interactions mobiles et guidage des visiteurs

Depuis les années 80, les musées proposent des outils mobiles numériques pour guider les visiteurs ou leur apporter du contenu de médiation culturelle en dehors des visites guidées traditionnelles. Ces outils permettent notamment aux visiteurs d'effectuer la visite à leur rythme et selon leurs envies personnelles. Ils ont évolué d'un simple contenu audio vers des applications interactives multimédia riches pouvant utiliser la géolocalisation (Hornecker et Ciolfi, 2019). Les visiteurs peuvent ainsi être guidés en direct par des indications de directions à suivre selon le flux narratif (Roussou et Katifori, 2018), ou d'objets à trouver (Vaart et Damala, 2015) ou une carte du musée peut leur être présentée pour qu'ils s'orientent d'eux-mêmes (Rubino *et al.*, 2013). La localisation et le guidage des visiteurs restent un problème ouvert, la précision des capteurs n'étant pas très fiable (portée de 2 à 3 mètres en intérieur) et certains visiteurs indiquant qu'ils ne se repèrent pas bien sur une carte du musée (Rubino *et al.*, 2013 ; Roussou et Katifori, 2018). Le déclenchement du contenu peut ensuite être fait à la demande en scannant un code QR (Ali *et al.*, 2018) ou en sélectionnant l'expôt d'intérêt sur un smartphone (Fosh *et al.*, 2013) ; ou automatiquement par capteur de proximité type iBeacon ou NFC (Petrelli et O'Brien, 2018). Ce contenu peut être de type purement informationnel, ludique ou raconter une histoire impliquant les œuvres du musée (Roussou et Katifori, 2018), ce dernier moyen étant préféré par les médiateurs que nous avons interrogés lors de notre étude (Chapitre 3). Roussou et Katifori indiquent en outre que les visiteurs préfèrent des contenus audios de courte durée, leur laissant la liberté d'approfondir les connaissances à la demande. Le projet CHESS - dans le cadre duquel leurs travaux ont été menés - explore également la personnalisation du contenu dispensé. En plus d'une phase initiale de profilage par questionnaire, CHESS utilise les interactions des visiteurs avec l'application pour raffiner le profil. Ainsi l'arrêt d'un passage audio avant la fin, ou le marquage d'une œuvre comme étant appréciée peuvent permettre une mise à jour dynamique de la personnalisation. Permettre aux visiteurs de sauvegarder une œuvre d'intérêt peut également faciliter la composition d'un souvenir personnalisé pour l'après visite (Not et Petrelli, 2018).

De nombreux enjeux pour l'utilisation d'applications mobiles sont relevés par la littérature, notamment autour de la distribution de l'attention des visiteurs. En effet, l'utilisation d'une application peut isoler le visiteur des personnes l'accompagnant ainsi que du reste de l'exposition, voir des expôts en eux-mêmes (Petrelli *et al.*, 2013 ; Roussou et Katifori, 2018). Une étude sur l'utilisation de PDA dans un musée des Beaux-Arts a ainsi montré que l'application monopolise l'attention des utilisateurs et peut se substituer aux œuvres (Vom Lehn et Heath, 2003). Le même constat a été fait pour le *Electronic Guidebook* proposé à l'Exploratorium de San Francisco, avec le constat supplémentaire que le fait de tenir le manuel

électronique ne permettait pas aux visiteurs d'interagir avec les dispositifs du musée (Semper et Spasojevic, 2002) et que le poids du dispositif était également impactant. L'interaction sociale est en outre essentielle dans la visite d'un musée (Vom Lehn et Heath, 2003), la conception d'un dispositif d'accompagnement de visite doit donc prendre en compte les interactions de groupe, afin d'éviter l'isolement du visiteur (Economou et Meintani, 2011 ; Lanir *et al.*, 2013 ; Tolmie *et al.*, 2014). L'utilisation de casques audios par exemple, pour éviter les problèmes de bruit ambiant, doit être conçue en prenant en compte les interactions interpersonnelles (Grinter *et al.*, 2002 ; Fosh *et al.*, 2013). Les dispositifs doivent également permettre aux visiteurs de se séparer et se retrouver selon leurs envies et les moments de la visite (Fosh *et al.*, 2013). Le dispositif *Sotto Voce* par exemple, permet aux visiteurs d'écouter « à la porte » (*eavesdropping*) du guide audio de son compagnon de visite (Aoki *et al.*, 2002). Cela permet aux visiteurs non seulement de partager l'écoute et discuter à propos du contenu, mais également de suivre où en est l'autre visiteur même séparés (Grinter *et al.*, 2002).

Ces dernières années, la large adoption des tablettes et smartphones par le grand public a incité les musées à adopter la politique du « Bring Your Own Device » qui consiste à demander aux visiteurs d'utiliser leur propre terminal mobile pour télécharger une application multimédia. Cela permet notamment aux petits musées ayant un budget limité d'éviter les coûts de maintenance et de gestion du matériel (Hornecker et Ciolfi, 2019). Cependant, Petrelli et O'Brien (2018) ont démontré qu'un dispositif spécifique au musée, une interface tangible conçue spécifiquement pour l'exposition, est préféré par les visiteurs. L'usage du tangible permet en effet la conception d'une expérience holistique plus poétique, mieux intégrée dans l'exposition et plus distincte d'un usage utilitaire et quotidien tel qu'avec un smartphone.

### 6.1.2. Exigences et recommandations

Après analyse des travaux existants sur le sujet, nous pouvons faire émerger des besoins communs pour les guides de visite numériques dans les musées. Le but premier de ces dispositifs est d'apporter du contenu de médiation supplémentaire, par déclenchement automatique ou à la demande. Pour cela, des séquences audios courtes que l'on peut arrêter semblent préférables, elles peuvent également apporter plus d'informations à la demande. Un tel outil peut également permettre de sauvegarder une œuvre d'intérêt pour la post-visite. Un second axe majeur est de guider les visiteurs dans leur parcours du musée, soit sur une carte soit par des instructions de déplacement. Les visiteurs ont également besoin de pouvoir se séparer et se retrouver dans le musée lorsqu'ils le souhaitent. Ces différentes tâches peuvent être réparties selon le continuum interaction-attention (Bakker et Niemantsverdriet, 2016) en fonction de la quantité d'attention nécessaire et de la précision des interactions associées (Figure 75). Ainsi le déclenchement automatique de l'audio ne nécessite pas d'interaction spécifique du visiteur et donc pas d'attention – elle se situe dans les interactions implicites – tandis que jouer un contenu supplémentaire plus approfondi nécessite une interaction spécifique. Selon la solution de conception envisagée pour déclencher ce contenu complémentaire, le contrôle peut être plus ou moins précis (comme remuer la main pour déclencher la lumière automatique dans l'exemple de Bakker et al.) et se situe ainsi entre interactions focalisées et périphériques. Nous avons choisi de placer également un besoin très général « visiter le musée » dans les interactions focalisées, afin de garder à l'esprit que toutes

les autres fonctionnalités sont secondaires par rapport à l'expérience de visite. Celle-ci consiste en de multiples actions telles que déambuler dans les salles, regarder les œuvres, apprendre, manipuler les expôts ou ressentir les œuvres, etc.

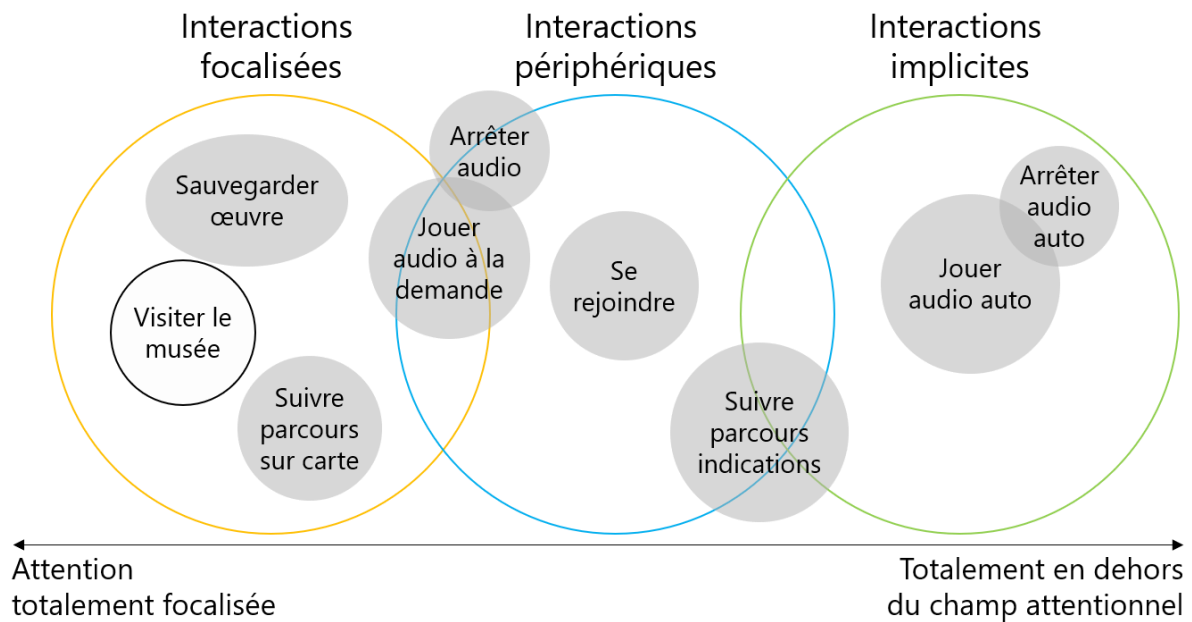


Figure 75 : Répartition des besoins du guide de visite sur le continuum interaction-attention de Bakker et al. (2016)

Nous pouvons également extraire de la littérature un ensemble d'exigences pour la conception d'un outil permettant de suivre les parcours de visite personnalisés. Ainsi celui-ci doit s'intégrer dans l'environnement du musée et se fondre dans son contexte (E1 - CONTEXTE), afin d'apporter une expérience holistique et permettre des interactions cohérentes le long du continuum interaction-attention. Un tel dispositif ne doit pas occulter les œuvres (E2 - ATTENTION) en monopolisant par exemple le canal visuel, mais se superposer à elles et les compléter en permettant des allers-retours attentionnels. Il doit également respecter les interactions sociales (E3 - SOCIAL) et ne pas enfermer les visiteurs dans une bulle individuelle. Enfin, un tel dispositif ne doit pas encombrer le visiteur en étant trop lourd ou en monopolisant les mains (E4 - ENCOMBREMENT), non seulement dans un musée de sciences où des manipulations sont nécessaires (comme pour l'*Electronic Guidebook* de l'Exploratorium) mais aussi dans n'importe quel musée, car les visiteurs ont en général déjà des sacs et manteaux à porter ou des enfants à tenir par la main.

Enfin ces travaux démontrent que de nombreuses pistes ont été explorées pour fournir un contenu multimédia le plus adapté aux visiteurs (avec ou sans personnalisation), sans perturber l'aspect social de la visite, ni entrer en compétition avec les œuvres. Cependant ce contenu est en général dispensé devant chaque œuvre (à la demande ou automatiquement), sans proposer aux visiteurs un parcours de visite à suivre narrant une histoire au fur et à mesure de leur déambulation. Les travaux qui traitent de ce type de guidage indiquent que ce problème reste ouvert (Rubino *et al.*, 2013 ; Roussou et Katifori, 2018). Il est de plus à relier aux problématiques d'attention évoquées en introduction. Nous allons donc dans la suite explorer des solutions de conception permettant de guider les visiteurs dans le musée le long du parcours de visite personnalisé choisi, en nous appuyant sur les exigences et besoins listés ci-dessus.

## 6.2. Conception d'un outil de suivi de parcours de visite personnalisés

Lors de la phase de conception, nous avons étudié plusieurs métaphores pour aider au suivi de parcours, afin de profiter des interactions déjà connues par les utilisateurs et ainsi faciliter l'exploration du continuum interaction-attention (E1 - CONTEXTE). La première étudie l'univers de la marche, tandis que la deuxième se concentre sur le contexte du musée avec les brochures de visite qui guident habituellement les visiteurs. Ces deux prototypes nous ont permis de faire émerger des questions de recherche et ont mené au développement d'une plateforme d'expérimentation permettant de tester différents modes de guidage.

### 6.2.1. Accompagner la marche : le Bourdon de Visite

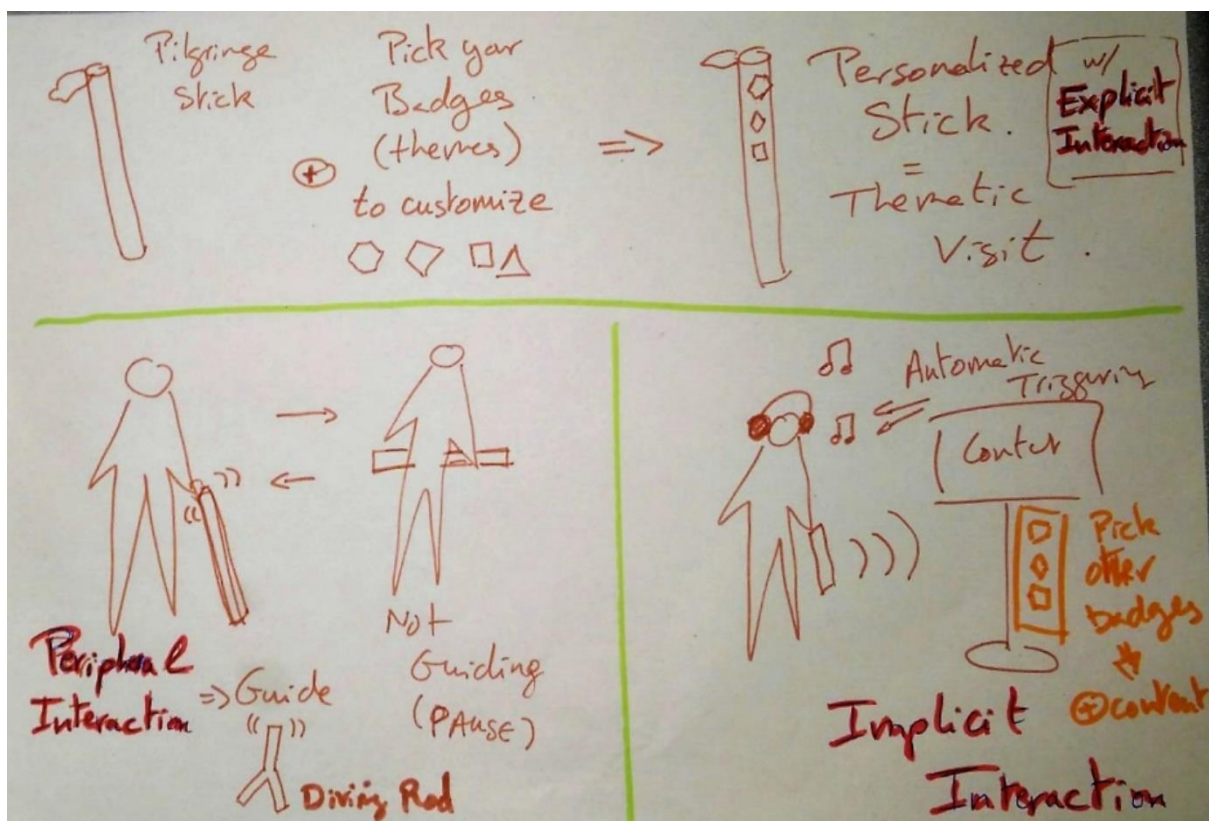


Figure 76 : Le Bourdon de Visite : interactions explicites, périphériques et implicites pour suivre le parcours dans le musée.

Lors du workshop sur l'IOTT à TEI'18 (Angelini *et al.*, 2018), nous avons choisi comme point de départ de conception le bâton de marche, ou bourdon de pèlerin. En effet celui-ci accompagne naturellement le pèlerin dans sa marche, lui permettant de rythmer celle-ci et peut être personnalisé avec des médaillons représentant les diverses étapes traversées. Le scénario envisagé et les différents types d'interaction (explicites, périphériques et implicites) sont décrits sur la Figure 76. En arrivant au musée, le visiteur se muni d'un Bourdon de Visite et d'un casque audio (avec un seul écouteur afin de ne pas être trop isolé) et choisit (*interaction explicite*) d'y apposer des badges correspondant à ses envies de visite (thématiques, type de visite, typologie de groupe, etc. cf. Chapitre 4). Lorsqu'il parcourt le musée, le bâton vibre pour lui indiquer la direction à suivre, à la manière d'une baguette de sourcier. Selon la manière dont le visiteur



tient le bâton, celui-ci est actif (vertical, extrémité dans la main) ou en pause (horizontal, tenu par le milieu). Le changement de mode s'effectue donc grâce à une *interaction périphérique* qui ne monopolise pas l'attention du visiteur. Lorsque le visiteur s'approche d'un point d'intérêt, le contenu multimédia se déclenche automatiquement (*interaction implicite*). Celui-ci est personnalisé en fonction des badges présents sur le bâton. Le visiteur peut à chaque borne ajouter ou enlever des badges sur son Bourdon pour approfondir un sujet ou changer de thématique (*interaction explicite*).

Cette première solution de conception respecte l'exigence E1 (CONTEXTE) puisque, même si elle emprunte à un contexte différent de celui des musées, elle exploite des interactions connues de tous les marcheurs avec un objet facilitant l'exploration de tout le continuum interaction-attention. Elle respecte également le partage de l'ATTENTION (E2) des visiteurs entre les œuvres, la déambulation dans le musée et le guidage, en tirant parti des interactions implicites et périphériques. Cependant l'aspect SOCIAL (E3) n'est pas abordé, puisque la solution a été conçue pour un seul visiteur (pour un groupe de visiteurs, un bâton par personne nécessiterait de personnaliser chacun avec des badges, et un bâton pour tout le groupe ne permettrait pas aux visiteurs de se séparer et se retrouver ensuite). Le bâton occupe uniquement une main, il remplit donc partiellement l'exigence E4 (ENCOMBREMENT) mais il peut réduire la fatigue du visiteur en lui permettant de s'appuyer. Ce prototype a levé des questions très intéressantes au sein du groupe de travail sur le mode de guidage. En effet, des questions se sont posées sur le fait que des vibrations de type « baguette de sourcier » soient suffisantes pour guider les visiteurs précisément. Néanmoins la vibration a été utilisée pour guider des personnes, notamment dans le contexte de la déficience visuelle (Kammoun *et al.*, 2012). Le prototype ressemble par sa forme à une canne blanche de déficient visuel, mais il faut noter que le Bourdon sert uniquement à indiquer les directions, alors que la canne sert principalement à distinguer des obstacles. D'autres solutions ont ainsi été évoquées, comme par exemple la modification de la couleur du pommeau selon que l'on s'approche d'un point d'intérêt, ou l'affichage de LED directionnelles au niveau de la poignée du Bourdon, ou encore l'utilisation de guidage sonore. Cependant, comme indiqué par Couture et Minel (2006), les retours visuels détournent l'attention du visiteur des œuvres, les retours sonores entrent en compétition avec le contenu audio de l'audio-guide, et les retours vibratoires doivent être bien isolés selon les directions pour être suffisamment discriminants et peuvent être faussement interprétés comme le signalement d'un obstacle ou de « quelque chose à trouver ».

### 6.2.2. Guider les visiteurs : la Brochure du Maraudeur

Cette deuxième piste de conception explore l'environnement du musée et s'inspire d'un objet déjà existant pour guider les visiteurs : la brochure distribuée au comptoir d'accueil. Elle permet en effet aux visiteurs de comprendre l'organisation du musée, de trouver les objets d'intérêt et parfois de suivre le parcours de visite principal s'il est indiqué (voir des exemples de brochure Figure 77). Elle présente l'avantage d'être compacte, de pouvoir être regardée à plusieurs et de se plier pour être rangée dans une poche quand elle n'est pas utilisée. Afin d'étendre les fonctionnalités de cet objet pour répondre aux besoins identifiés, nous nous sommes inspirées d'un artefact de la culture populaire qui « augmente magiquement » une carte papier : la « *Carte du Maraudeur* » de Harry Potter™ (Figure 77 droite). En effet, celle-ci permet d'afficher

sur une carte détaillée de l'école des sorciers la position dynamique de chaque personne présente, dont celle du porteur lui-même. Une telle carte pourrait donc permettre au visiteur de se repérer et également de retrouver ses compagnons de visite s'ils se sont séparés. Cette brochure tire également parti de différentes modalités d'interaction : visuelles mais aussi haptiques, au travers de retours tactiles (sensations cutanées comme la vibration, le toucher, la pression ou la température) et kinesthésiques (signaux internes envoyés par les muscles et les tendons sur la position et le mouvement des membres, utilisés par exemple pour des retours d'efforts, la déformation d'objet ou des gestes) (Freeman *et al.*, 2017).

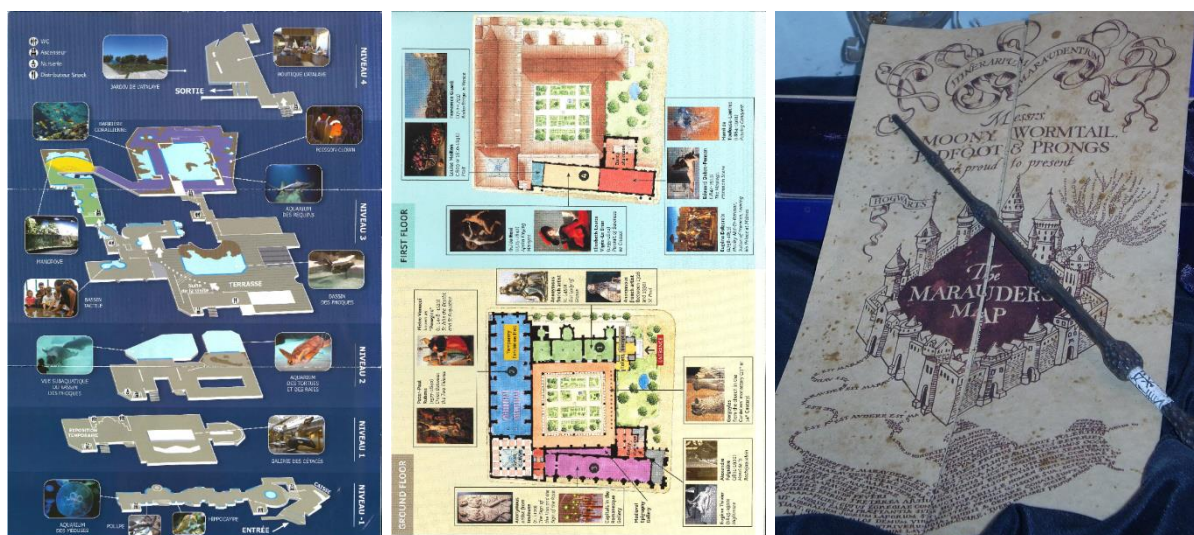


Figure 77 : Brochures de l'aquarium de Biarritz (avec flèches indiquant « suite du parcours ») et du musée des Augustins à Toulouse. À droite, la carte du Maraudeur de Harry Potter™ (Wikimedia Commons, [CC by 3.0](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marauder%27s_Map.jpg), auteur : [KRLS](https://commons.wikimedia.org/wiki/User:KRLS)).

Le scénario d'usage de la « Brochure du Maraudeur » est le suivant (Figure 78) : après avoir choisi leur parcours de visite personnalisé, chaque visiteur du groupe récupère une Brochure contenant le parcours (*interaction explicite*). Celles-ci sont appariées entre elles afin de déterminer qu'elles font partie du même groupe. La Brochure permet d'avoir une première vision d'ensemble du parcours afin de se faire une idée de son étendue et du nombre de points d'intérêts qui le compose. Les visiteurs peuvent ensuite suivre l'itinéraire en consultant la carte mise à jour dynamiquement avec leur position. Celle-ci leur indique en outre les directions à prendre en se tordant du côté où tourner. L'utilisateur peut alors plier la Brochure pour la tenir à la main et continuer d'utiliser les rétroactions haptiques pour se diriger. Il peut également la placer dans sa poche, ce qui met en pause le guidage, le visiteur pouvant suivre les autres membres de son groupe ou décider de se promener selon son envie. Le passage entre ces différents modes – guidage précis au centre de l'attention, guidage périphérique imprécis et mise en pause ne nécessitant plus d'attention – est réalisé grâce à des *interactions périphériques* simples et cohérentes avec la métaphore du feuillet papier. Lorsque le visiteur arrive devant un point d'intérêt, le contenu audio est automatiquement déclenché (*interaction implicite*) et il peut, s'il le souhaite, mémoriser l'expôt en cornant le coin de sa Brochure (*interaction explicite*). Si le groupe de visiteurs se sépare, chacun peut à tout moment voir où en sont les autres pour décider de les rejoindre ou de prendre son temps (comportement observé pendant les tests in-situ avec le prototype *SottoVoce*) sur la Brochure du Maraudeur dépliée (*interaction explicite*).

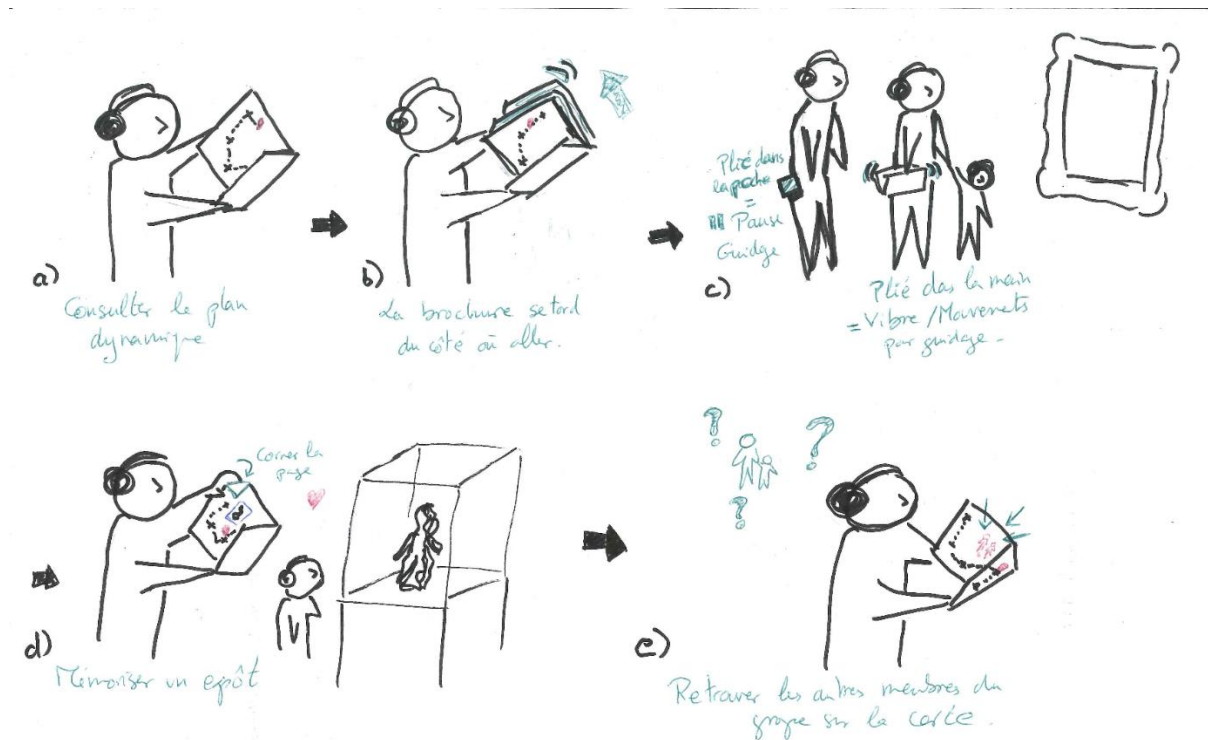


Figure 78 : Storyboard d'utilisation de la Brochure du Maraudeur : a) Les visiteurs consultent le parcours personnalisé sur la Brochure dépliée, b) ils peuvent suivre l'itinéraire sur la carte ou en tournant du côté où elle se tord, c) une fois pliée la carte continue de bouger dans la main pour indiquer les directions, si elle est placée dans la poche le guidage est mis en pause, d) le visiteur peut mémoriser un expôt d'intérêt, e) le visiteur peut voir la position de ses compagnons sur la Brochure.

D'un point de vue technologique, ce prototype est inspiré des travaux du Human Media Lab sur les écrans à encre électronique souples, déformables et pliables tel que PaperTab (Tarun *et al.*, 2013), MorePhone (Gomes, Nesbitt et Vertegaal, 2013) et PaperFold (Gomes et Vertegaal, 2014) et des travaux du MIT Tangible Media Group sur les surfaces à changement de forme tels que Unimorph (Heibeck *et al.*, 2015) et Aeromorph (Ou *et al.*, 2016) (Figure 79). L'idée est de s'approcher le plus possible du rendu du papier avec de l'encre électronique et des déformations de surface de type Origami<sup>30</sup>, afin de laisser la part à l'expérience sensorielle.



Figure 79 : Inspirations technologiques pour la Brochure du Maraudeur : a) PaperTab, un écran à encre électronique qui détecte les torsions. b) PaperFold, une interface composée d'écrans pliables. c) Unimorph, une interface à changement de forme contrôlée par la température. D) Aeromorph une structure en origami gonflable à changement de forme. (Sources : Human Media Lab, libre de droits et MIT Media Lab Tangible Media Group, CC BY-NC-ND 3.0).

Ce prototype est pleinement intégré dans le contexte du musée, puisqu'il reprend et augmente un objet déjà présent : la brochure de visite (E1 – CONTEXTE). Le concept conserve l'aspect sensoriel du papier tout en l'augmentant numériquement avec un affichage dynamique, des

<sup>30</sup> Voir par exemple, la technique de pliage de Miura : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pliage\\_de\\_Miura](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pliage_de_Miura)

changements de forme et l'utilisation des pliages et torsions du papier comme moyen d'entrée. Plusieurs types de guidages sont envisagés, permettant au visiteur de réguler son attention selon ses besoins : attention focalisée sur la carte pour visualiser le parcours dans son ensemble, attention périphérique aux torsions de la carte pour suivre les directions tout en regardant les œuvres, attention complètement libérée quand la carte est pliée dans la poche en mode pause (E2 – ATTENTION). Le passage entre ses états se fait au moyen d'interactions naturelles avec une brochure papier : la déplier, la plier en deux pour la tenir à la main ou la ranger dans une poche (E1 – CONTEXTE). De plus ses différentes configurations permettent de réduire l'encombrement de la carte et l'utilisation des mains selon les besoins (E4 – ENCOMBREMENT). Notre scénario d'usage prévoit également quelques interactions sociales, comme par exemple le fait de retrouver ou suivre à distance ses compagnons de visite (E3 – SOCIAL). Il pourrait être complété avec un système de partage du contenu audio entre visiteurs comme dans le système *Sotto Voce* (Aoki *et al.*, 2002).

### 6.2.3. Plateforme de développement et d'expérimentation

Les deux phases de conception ont fait émerger de nombreuses questions sur les moyens les plus pertinents de transmettre l'information : les vibrations sur différentes parties d'un dispositif sont-elles suffisamment discernables pour indiquer des directions ? Peut-on avoir les mêmes performances de guidage en utilisant l'haptique et le visuel ? Des mouvements d'une partie de l'interface sont-ils pertinents pour porter une signification de guidage ? Peut-on permettre aux utilisateurs une transition continue entre des informations visuelles et haptiques ? Nous avons ainsi proposé un projet tuteuré en mécatronique à trois étudiants de l'ESTIA afin de concevoir et réaliser une plateforme matérielle permettant de tester différentes modalités sensorielles pour l'interaction et le guidage.

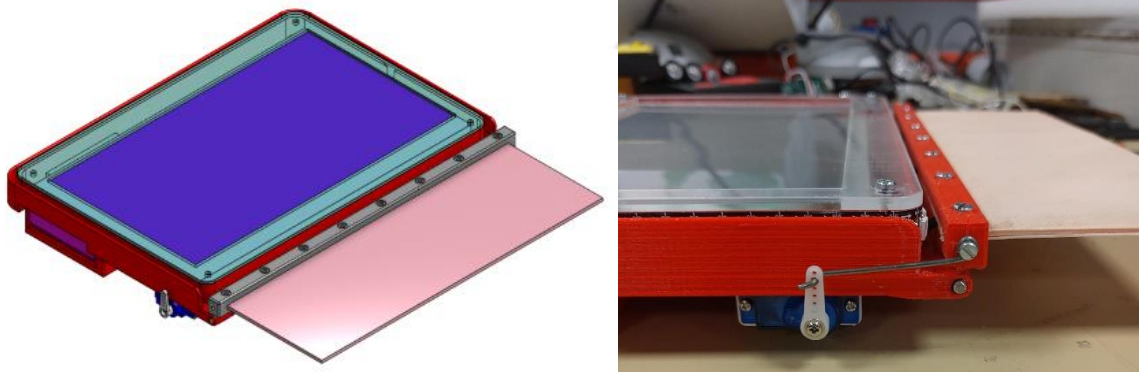


Figure 80 : Plateforme d'expérimentation pour le guidage des visiteurs. À gauche la modélisation 3D : en bleu l'écran tactile de la tablette, en rouge le boîtier 3D et en rose une partie flexible et mobile imprimée en 3D. À droite un zoom sur le prototype réel montrant l'actuateur permettant de faire bouger la partie mobile.

La plateforme réalisée permet ainsi d'utiliser en sortie le canal visuel – avec précision à travers un écran et de manière plus approximative avec des signaux lumineux – le canal haptique avec des vibrations, des mouvements et des changements de température, et enfin le canal auditif avec des signaux sonores. Elle permet également de détecter en entrée la déformation de la surface, ainsi que les mouvements et les changements d'orientation de l'utilisateur. Pour des raisons de coûts et de simplicité d'intégration, cette première version a été réalisée à partir d'une tablette tactile incorporée dans un boîtier imprimé en 3D dont seule une partie est

flexible et mobile pour permettre le mouvement en sortie et capter la flexion en entrée (en rose sur la Figure 80).

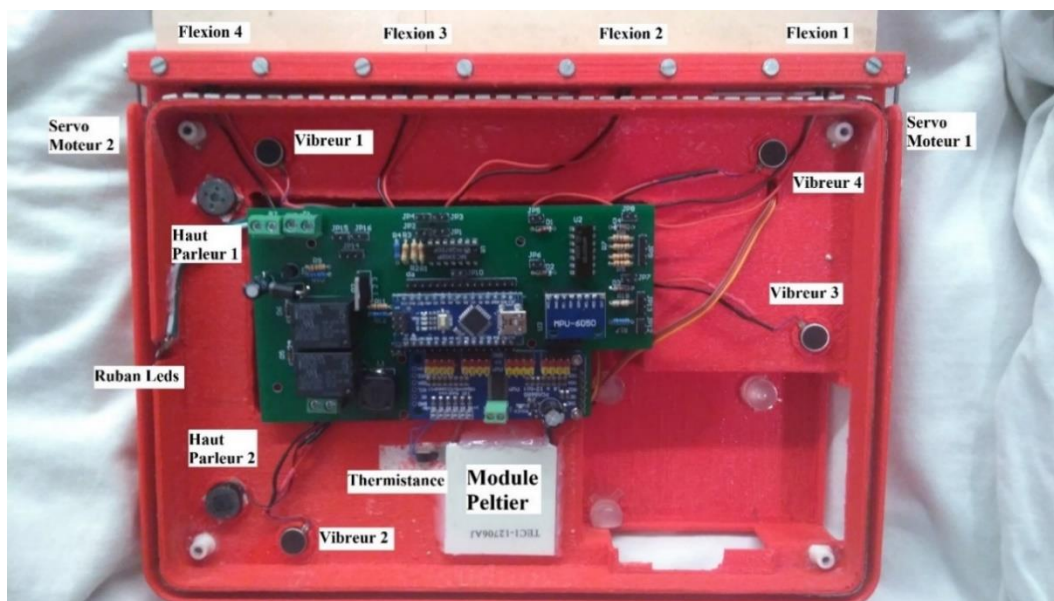


Figure 81 : Les différents composants de la plateforme d'expérimentation en entrée et en sortie.

La plateforme est composée de plusieurs sorties physiques (Figure 81) : un écran (Waveshare 10,1 Pouces LCD), quatre vibreurs aux quatre coins de l'écran, deux actuateurs (servo-moteurs) permettant de faire pivoter la partie mobile, un bandeau de LED placé autour de l'écran, un module Peltier permettant de donner des indications thermiques et deux mini haut-parleurs. Elle possède également plusieurs entrées physiques : quatre capteurs de flexion à l'intérieur de la partie mobile, une centrale inertielle (*Inertial Measurement Unit*, IMU) ainsi que la matrice tactile de l'écran. Ces différents capteurs et actuateurs sont reliés à un Arduino Nano et un Raspberry Pi 3 qui permet de traiter les données (Figure 82).

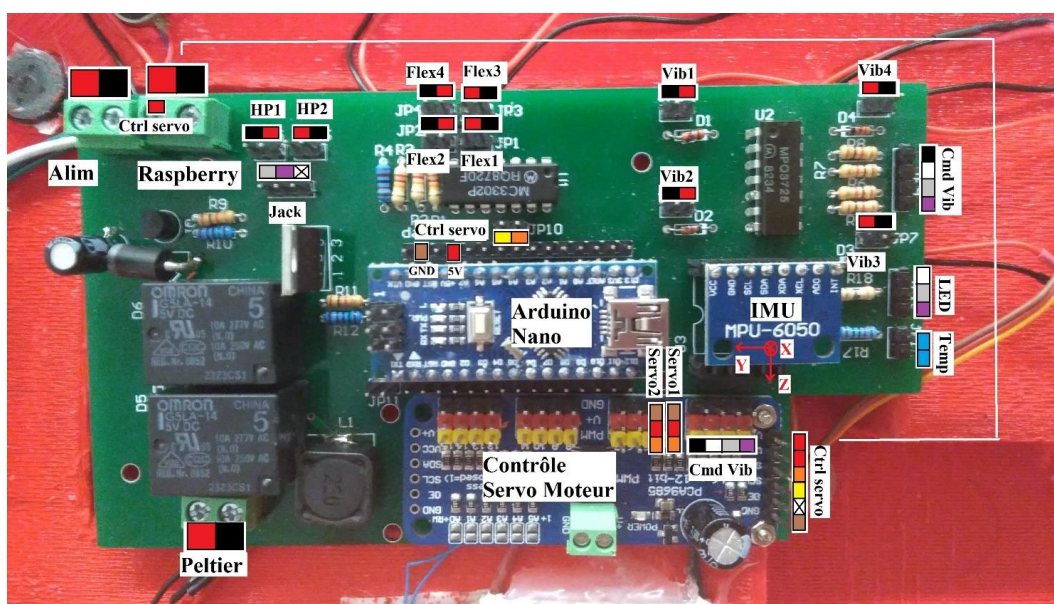


Figure 82 : Câblage de la carte de contrôle (Raspberry Pi 3 et Arduino Nano) de la plateforme d'expérimentation.

Les informations en entrée/sortie sont transmises par le port série. Les différentes trames du protocole sont formatées selon le schéma suivant : [SB][ID][arg1][arg2]... [X][X][CHKS][EB]. Une trame comporte toujours 16 informations, éventuellement nulles. [SB] indique le début de la trame (*start bit*), tandis que [CHKS] et [EB] en indiquent la fin (*check sum* puis *end bit*). [ID] permet de définir la fonction, suivi de divers arguments [arg1][arg2] selon la fonction, tel que décrit ci-dessous. Les fonctions principales supportées sont :

1. Plier la partie mobile :  
[SB][0][ANGLE]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
[ANGLE] : inclinaison de la partie souple de la carte (entre 0 et 100%).
2. Recevoir les informations de flexion de la partie mobile :  
[SB][11]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
Réponse : [SB][11][FLEX\_1][FLEX\_2][FLEX\_3] [FLEX\_4]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
[FLEX\_i] : degré de pliage d'un des capteurs (entre 0 et 100%)
3. Faire vibrer une des zones :  
[SB][22][VIB\_ID][INTENSITE]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
[VIB\_ID] : identifiant du vibreur (entre 1 et 4)  
[INTENSITE] : intensité de vibration (entre 0 et 100%)
4. Allumer une LED :  
[SB][33][LED\_ID][ROUGE][VERT][BLEU]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
[LED\_ID] : numéro de la LED à allumer (entre 0 et 115)  
[ROUGE] : intensité du rouge (entre 0 et 255)  
[VERT] : intensité du vert (entre 0 et 255)  
[BLEU] : intensité du bleu (entre 0 et 255)
5. Atteindre une température avec le module Peltier :  
[SB][44][64][TEMPERATURE]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
[64] : argument indiquant au module Peltier de changer de température  
[TEMPERATURE] : température à atteindre (entre 20 et 35°C)
6. Changer le mode du module Peltier :  
[SB][44][255][MODE]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
[255] : argument indiquant au module Peltier de basculer de mode  
[MODE] : mode froid (1), chaud (2) ou stop (3)
7. Récupérer les valeurs d'accélération et la vitesse angulaire de la centrale inertielle :  
[SB][55][255]XXXXXXXXXXXX[CHKS][EB]  
Réponse : [SB][55][AcX][AcY][AcZ][TEMP][GyX][GyY][GyZ][X][X][X][X][X][CHKS][EB]  
[AcX] : accélération linéaire selon X (0 correspond à -16G et 255 à +16G)  
[AcY] : accélération linéaire selon Y (0 correspond à -16G et 255 à +16G)  
[AcZ] : accélération linéaire selon Z (0 correspond à -16G et 255 à +16G)  
[TEMP] : température au niveau de la carte inertielle  
[GyX] : vitesse angulaire selon X (0 correspond à -2000° et 255 à +2000°)  
[GyY] : vitesse angulaire selon Y (0 correspond à -2000° et 255 à +2000°)  
[GyZ] : vitesse angulaire selon Z (0 correspond à -2000° et 255 à +2000°)

La prochaine étape de ce travail est de construire une API, surcouche de ces trames, afin de communiquer plus simplement avec les capteurs et actuateurs et ainsi implémenter des scénarios d'usage de la plateforme d'expérimentation.

### 6.3. Discussion

Les travaux présentés correspondent à un travail en cours, les prochaines étapes envisagées sont la finalisation de l'API et l'analyse de l'activité et des besoins des visiteurs in-situ dans un des musées partenaires afin de faire émerger des scénarios d'usage pour la Brochure du Maraudeur. Nous envisageons par exemple d'utiliser la technique des Cultural Probes (Gaver, Dunne et Pacenti, 1999), afin de recueillir les habitudes de visite et les envies des visiteurs. En parallèle, et après consolidation de la plateforme d'expérimentation, nous souhaitons mettre en place des tests entre les différentes modalités d'interaction envisagées. Ainsi ce premier prototype nous permettra de comparer différents modes de guidage : par la température (principe du jeu de « chaud/froid »), la vibration (schémas de vibration ou localisation), la déformation de l'interface (mouvements de l'interface), la lumière (LED directionnelles), l'écran et le son (ces deux derniers étant plutôt des conditions de contrôle, le canal visuel étant déjà utilisé pour la visite du musée et le canal auditif pour les contenus de médiation et les interactions sociales). Ceux-ci sont à comparer non seulement par rapport au canal sensoriel utilisé, mais également par rapport au type d'indication donné pour le guidage (suivi de carte, directions, recherche de points clés ou déviation du chemin suivi). La conjonction de plusieurs modalités, par exemple vision de la carte plus indications haptiques de direction, peut également être intéressante à tester, une vue d'ensemble permettant d'augmenter la confiance des utilisateurs dans les consignes de navigation haptiques (Pielot *et al.*, 2011). Le protocole expérimental devra proposer une tâche visuelle à exécuter en parallèle afin de déterminer quel mode de guidage est le plus efficace tout en préservant l'attention du visiteur pour les œuvres et la visite du musée en soi.

Les retours haptiques pour la navigation ont été largement étudiés dans la littérature en IHM, notamment pour le guidage des personnes déficientes visuelles. Une approche courante est d'utiliser des technologies portées sur le corps (*wearable technology*), comme par exemple une ceinture contenant huit vibreurs (Heuten *et al.*, 2008). Dans ces conditions, les retours haptiques se sont révélés moins rapides que les retours audios, mais ont permis de rester plus près du chemin prévu, et permettent surtout de dégager les canaux auditifs et visuels des utilisateurs. L'acceptabilité de ce type de technologie à porter sur le corps pour des visiteurs de musée reste à tester. De plus, la collaboration au sein d'un groupe semble plus complexe à mettre en place, chaque dispositif étant individuel et difficilement partageable. En outre, le suivi précis d'une trajectoire n'est pas le but principal, les déviations ne présentent pas ici de danger contrairement aux situations de handicap visuel. Une autre approche est d'utiliser des vibrations sur un dispositif mobile pour indiquer la direction dans laquelle tourner ou la distance et la direction du point d'intérêt (Couture et Minel, 2006 ; Jacob *et al.*, 2010 ; Azenkot, Ladner et Wobbrock, 2011 ; Pielot *et al.*, 2011). Azenkot et al. ont ainsi testé trois types d'interaction sur le téléphone : « *Wand* » où le téléphone vibre lorsque la personne en situation de handicap visuel pointe la bonne direction ; « *ScreenEdge* » où le téléphone vibre lorsque l'utilisateur touche le bord qui correspond à la direction qu'il doit prendre à la prochaine

intersection ; « *Pattern* » où le nombre de vibrations indique la direction à prendre. Les participants de l'étude ont préféré *Patterns* pour son efficacité et *ScreenEdge* pour l'aspect tactile. Le fait de bouger le téléphone comme une baguette a été identifié comme inconfortable et plus fatiguant. Il serait intéressant de tester ces types d'interaction dans le cadre du musée avec des utilisateurs voyants pour comparer les résultats, le temps d'apprentissage disponible et les buts de navigation n'étant pas les mêmes (se rendre à un endroit précis versus profiter de la déambulation pour visiter).

Les retours thermiques ont été peu étudiés pour l'instant en IHM par rapport aux retours tactiles (Hribar et Pawluk, 2011 ; Freeman *et al.*, 2017). Différentes études de Wilson *et al.* (2012, 2013) ont montré qu'en combinant des différences d'intensité, de rapidité d'évolution et de direction (réchauffer ou refroidir), les patterns produits avec des modules Peltier sur la paume de la main sont bien reconnus par les utilisateurs en intérieur, que les utilisateurs se déplacent ou non. La précision baisse néanmoins fortement en extérieur (Freeman *et al.*, 2017). Les interfaces à changement de forme ont également été peu explorées pour le guidage. Spiers et Dollar (2016) ont démontré que la navigation était aussi efficace en utilisant des changements de forme que des vibrations pour indiquer la direction et la proximité des points d'intérêt en extérieur, mais que les utilisateurs passaient plus de temps à interpréter les vibrations et préféraient le prototype à changement de forme. Ces premiers résultats nous paraissent encourageants pour expérimenter le guidage des visiteurs dans les musées par des modalités sensorielles moins explorées comme la chaleur ou le changement de forme.

Petrelli et O'Brien (2018) ont souligné dans une étude récente que les motivations de visite et les typologies des visiteurs ont une influence sur les types d'interaction préférés pour les dispositifs d'accompagnement de la visite. Les modalités privilégiées par les visiteurs avec un certain style de visite peuvent amplifier ces effets, une application mobile étant ainsi préférée pour un survol de l'exposition (profil « poisson » selon Levasseur et Veron, 1983) et le tangible pour un engagement plus approfondi (profil « fourmi »). Il serait ainsi intéressant de tester également les diverses modalités offertes par la plateforme d'exploration au regard des différents profils de visite (fourmi, poisson, sauterelle et papillon) et différentes compositions de groupe (les caractéristiques de personnalisation proposées Chapitre 4).

### 6.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré le suivi du parcours de visite personnalisé par les visiteurs dans le musée. Une revue de la littérature nous a permis de faire émerger plusieurs exigences pour un tel dispositif : il doit se fondre dans son contexte afin de proposer une expérience holistique de visite ; il ne doit pas détourner l'attention des visiteurs des œuvres et de leur déambulation dans le musée ; il doit soutenir l'aspect social de la visite culturelle et ne pas encombrer physiquement les visiteurs. Pour répondre à la question Q1 (page 156), à travers plusieurs pistes de conception et la réalisation d'une plateforme d'expérimentation, nous avons mis en évidence la richesse des interfaces tangibles pour transmettre les consignes de guidage à travers divers canaux sensoriels afin de permettre une meilleure répartition de l'attention des visiteurs. Le Bourdin de visite nous a ainsi permis d'explorer l'utilisation du continuum *interaction-attention* (Bakker et Niemantsverdriet, 2016) pour concevoir des

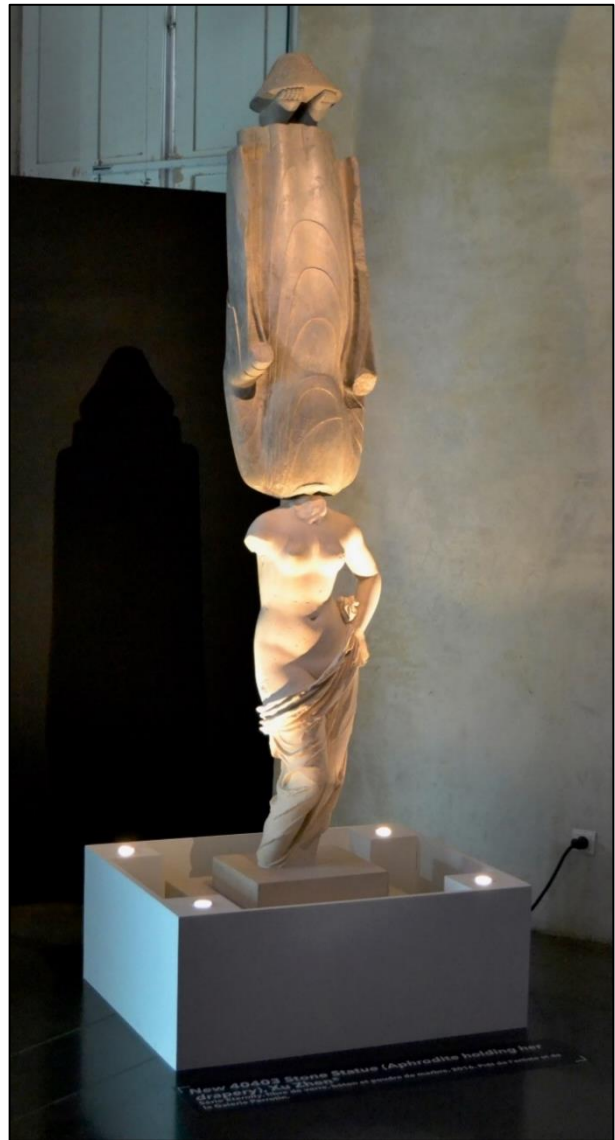


interfaces permettant au visiteur de réguler son attention selon les moments de la visite. La Brochure du Maraudeur a étendu l'usage d'un objet récurrent du musée, la brochure de visite, en l'augmentant avec un affichage dynamique et diverses modalités tactiles et kinesthésiques. Ceci nous a amené à la conception et la réalisation d'une plateforme physique d'expérimentation multimodale mettant en œuvre plusieurs canaux sensoriels – visuel, audio et haptique (à travers l'utilisation de la chaleur, des vibrations et du changement de forme) – pour le guidage des visiteurs. Cette plateforme nous permettra dans des travaux futurs de comparer les différentes modalités et leur combinaison pour le guidage dans le musée, ainsi que d'évaluer l'impact des profils des visiteurs sur leurs préférences d'interaction.

# Chapitre 7

---

## Conclusion et perspectives



Xu Zhen, *New 40403 Stone Statue*, 2016.  
Scénographie pour l'exposition « Age of Classics » au musée Saint-Raymond et photographie de Guillaume Lamarque, février 2019. <https://lamarqueguillaume.com>

7. Conclusion et perspectives .....	171
7.1. Questions de recherche et contributions.....	173
7.1.1. Contributions .....	177
7.2. Limitations et perspectives.....	178
7.2.1. Perspectives de recherche.....	179
7.2.2. Perspectives industrielles .....	182

## 7. Conclusion et perspectives

---

Cette thèse nous a permis d'explorer les apports des interactions tangibles pour la création, le choix et le suivi de parcours de visite personnalisés dans les musées pour deux types d'utilisateurs : les professionnels des musées et les visiteurs.

Le chapitre 1 nous a permis de définir le contexte et la portée de nos recherches. Nous avons ainsi défini un objectif pour chaque type d'utilisateur : aider les médiateurs culturels à concevoir des parcours personnalisés prenant en compte la diversité des profils des visiteurs ; et aider les visiteurs à choisir et suivre un parcours qui leur corresponde tout en comprenant et maîtrisant la personnalisation. Nous avons également listé six questions de recherche détaillant ces objectifs, sur lesquelles nous reviendrons dans la section suivante pour expliciter nos contributions.

Dans le chapitre 2 nous avons recensé les travaux existants dans les deux domaines d'intérêt pour cette thèse : la personnalisation dans le domaine muséal et les interactions tangibles. Nous avons ainsi constaté que la personnalisation se faisait souvent selon de grandes catégories de visiteurs qui recouvrent mal la diversité des profils et des envies, notamment pour les groupes. À notre connaissance aucun outil permettant aux professionnels du musée de prendre en considération des profils complexes de visiteur n'a été proposé à ce jour. L'état de l'art sur les usages professionnels du tangible nous a permis de déterminer que la « réflexion tangible » (*tangible thinking* ; Klemmer, Hartmann et Takayama, 2006) et la cognition distribuée (*distributed cognition* ; Hollan, Hutchins et Kirsh, 2000) permises par les TUI pourraient accompagner les professionnels de musée dans cette tâche. L'analyse de l'existant nous a également permis de déterminer que la personnalisation implicite (par inférence des comportements des visiteurs) posait des problèmes de transparence et de confiance et que la personnalisation explicite (par des questionnaires) pouvait être longue et rébarbative pour les visiteurs. Les interfaces tangibles peuvent contrebalancer cet effet grâce à leur attractivité et à leur apport pour la collaboration et l'engagement des visiteurs. Les TUI peuvent également être utilisées pour le suivi du parcours dans le musée car elles favorisent les interactions périphériques et permettent donc de réguler l'attention du visiteur entre la visite et le dispositif de guidage.

Le chapitre 3 analyse l'activité, les besoins et les attentes des médiateurs culturels et documente la conception itérative d'un outil d'aide à la création de parcours de visite personnalisés. Des entretiens semi-directifs avec les médiateurs culturels nous ont permis de faire émerger le concept de personnalisation multicritère combinant diverses caractéristiques de visiteurs, dont nous avons identifié un premier ensemble de valeurs. Nous avons affiné ce concept et les besoins associés au travers d'exercices prospectifs avec les médiateurs et de plusieurs itérations de conception. Celles-ci ont abouti à la conception de *MuseoX* et à son instanciation en deux prototypes haute-fidélité, un tangible *MuseoTUI* et un tactile *MuseoGUI*, permettant de composer des profils multicritères et de suivre la progression de la création des parcours. Nous avons expérimenté ces deux solutions auprès de huit médiateurs culturels de quatre institutions culturelles qui ont validé l'utilité du concept dans leur contexte professionnel. Cinq professionnels sur huit ont préféré le prototype tangible au tactile, et ont

déclaré que l'incarnation et la manipulation des caractéristiques des visiteurs amélioreraient la projection sur les profils des visiteurs et encourageaient la création et la réflexion. Les questionnaires standardisés ont montré une plus grande satisfaction pour le tangible et sept médiateurs sur les huit ont déclaré qu'ils souhaiteraient utiliser MuseoTUI dans un contexte d'usage collaboratif.

Dans le chapitre 4, nous avons exploré la personnalisation des parcours de visite du point de vue des visiteurs. Nous avons mené des entretiens semi-directifs auprès de 37 visiteurs du musée Saint-Raymond, complétés par un questionnaire en ligne auprès de 133 visiteurs. Ceux-ci ont permis de valider l'intérêt des parcours de visite personnalisés multicritères et de consolider les caractéristiques de visite à prendre en compte. Nous avons extrait de cette analyse, ainsi que de la littérature, une liste de 12 recommandations pour la conception d'une solution permettant aux visiteurs de choisir les caractéristiques leur correspondant afin de leur proposer des parcours adaptés à la composition de leur groupe et à leurs envies. Une démarche de conception participative et itérative a mené à la réalisation du prototype tangible *Build Your Own Hercules* qui permet aux visiteurs de personnaliser un buste d'Hercule selon les caractéristiques du groupe afin de filtrer la liste de parcours de visite proposés. Ce prototype a fait l'objet d'une étude pilote au musée Saint-Raymond auprès de 14 groupes, soit 22 visiteurs au total. Les premiers retours confirment la facilité d'utilisation, la satisfaction et la compréhension de l'intérêt du prototype haute-fidélité dans son contexte d'usage en conditions quasi-réelles. Les observations nous ont également permis de souligner l'attractivité du prototype tangible ainsi que les opportunités qu'il offre pour la collaboration.

Le chapitre 5 explore plus précisément le paradigme d'interaction token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005), dont relèvent les deux prototypes *MuseoTUI* et *Build Your Own Hercules*. Ce chapitre décrit une revue systématique des travaux découlant de l'article séminal et montre que relativement peu de prototypes relevant stricto-sensu du paradigme ont été conçus (30%) et qu'ils tirent peu parti des propriétés du modèle. Nous présentons une liste de 24 propriétés réparties en cinq catégories reformulant les travaux de l'article séminal. Cette grille heuristique permet de décrire et de comparer des prototypes selon le paradigme token+constraint. Elle permet également de guider leur conception, leur développement et leur validation expérimentale. Nous avons démontré l'utilité de cette grille sur quatre exemples, deux tirés de nos travaux de thèse et deux tirés de la revue systématique de littérature.

Enfin, le chapitre 6 explore le suivi des parcours de visite personnalisés par les visiteurs dans le musée. Nous avons extrait de la littérature plusieurs exigences pour un tel dispositif : il ne doit pas détourner l'attention des visiteurs de la visite en elle-même ni les encombrer physiquement, il doit se fondre dans son contexte et soutenir l'aspect social de la visite culturelle. À travers la conception de deux prototypes basse-fidélité, le *Bourdin de Visite* et la *Brochure du Maraudeur*, nous avons exploré le continuum interaction-attention de Bakker et Niemantsverdriet (2016) afin de permettre au visiteur de réguler son attention de manière fluide selon le moment de la visite. Ceci nous a amené à la conception et la réalisation d'une plateforme physique d'expérimentation pour le guidage des visiteurs au travers de plusieurs canaux sensoriels (visuel, audio et haptique), ouvrant la voie à de futures expérimentations.

## 7.1. Questions de recherche et contributions

Dans le chapitre d'introduction nous avons listé six questions de recherche qui articulent et précisent l'hypothèse soutenue par cette thèse. Nous présentons ici comment les travaux présentés dans les chapitres précédents permettent d'y répondre ainsi que les contributions correspondantes.

Question 1 : Comment les deux parties-prenantes, médiateurs culturels et visiteurs, envisagent-elles la personnalisation des parcours de visite et selon quelles caractéristiques ?

Les entretiens semi-directifs auprès de quatre professionnels du service des publics de trois institutions culturelles nous ont permis d'identifier que les visites sont actuellement thématiques ou profilées mais qu'elles ne sont pas véritablement personnalisées (Chapitre 3). Les professionnels désirent ainsi proposer des visites « à la carte » en fonction des caractéristiques et des envies des visiteurs au moment de leur visite. Nous avons extrait de la manière dont ils mènent actuellement les visites guidées et de leurs envies pour un système autonome futur un premier ensemble de six caractéristiques de personnalisation : nombre de personnes dans le groupe, âge, temps disponible, motivation, situation de handicap et niveau d'expertise, auxquelles il faut ajouter le thème de la visite. Ces caractéristiques doivent ensuite être combinées pour tenir compte de la variété des profils des visiteurs : un couple d'adultes experts ayant une heure pour approfondir le musée ne visitera pas de la même manière qu'une grand-mère et son petit-fils de 6 ans désirant expérimenter pendant une après-midi. Nous proposons de nommer ce type de personnalisation « personnalisation multicritère ».

Table 21 : Consolidation des caractéristiques pour la personnalisation multicritère à partir des entretiens avec les médiateurs et les visiteurs.

<i>Caractéristiques</i>	<i>Exemples de valeurs</i>
Nombre de visiteurs / composition du groupe	Personne seule, couple (2 personnes adultes), groupe d'adultes (3 à 6 personnes adultes), famille (2 à 6 personnes dont un enfant)
Âge	3-6 ans, 7-12 ans, 12-18 ans, adultes
Temps disponible	30 minutes, 1 heure, 2 heures
Situation de handicap	Aucun, cognitif, moteur, visuel, auditif
Motivation	S'amuser, apprendre, explorer, expérimenter
Expertise	Débutant, intermédiaire, expert
Thème de la visite	Dépendant du musée

Du point de vue des visiteurs, des entretiens semi-directifs menés au musée Saint-Raymond auprès de 37 visiteurs et complétés par des questionnaires en ligne auprès de 133 participants, nous ont permis de comprendre leur intérêt pour des parcours de visite personnalisés (Chapitre 4). Ils répondent aux envies des visiteurs d'approfondir leurs connaissances du musée et de le voir sous plusieurs facettes notamment lorsqu'ils reviennent pour accompagner des proches. Ces études nous ont également permis de croiser les caractéristiques de personnalisation selon les visiteurs avec celles évoquées par les médiateurs. Nous avons ainsi constaté que les caractéristiques se recoupent quasiment toutes (durée, âge, expertise, thème, situation de handicap), à l'exception du nombre de personnes qui est une caractéristique plus « technique » permettant aux médiateurs de prendre en compte l'organisation spatiale des œuvres et du musée. Un groupe avec un même nombre de personnes peut également

correspondre à plusieurs cas : couple, amis ou famille. Nous proposons donc de remplacer le nombre de personnes par la notion de « composition du groupe » dans les caractéristiques présentées aux visiteurs. Nous proposons ainsi la liste consolidée de caractéristiques présentée en Table 21, ainsi qu'un ensemble de valeurs d'exemple pour celles-ci. Cette liste de caractéristiques constitue une base qui pourrait être augmentée ou modifiée en fonction de l'institution culturelle, ses visiteurs et leurs envies.

Question 2 : Quels outils pour permettre aux professionnels des musées d'adresser la richesse des profils de visiteurs lors de la conception de parcours de visite personnalisés ?

L'approche multicritère permet d'aller au-delà de la visite thématisée ou profilée en permettant une plus grande finesse dans la composition des groupes tout en proposant une structure permettant de gérer leur complexité. Siirtola (2003) définit la complexité en visualisation d'informations comme « *quelque chose qui a un grand nombre de parties, ou dont les parties ont des relations non triviales, ou les deux* ». Il dénombre quatre mécanismes cognitifs permettant de gérer cette complexité : la *décomposition* en parties plus simples, *l'abstraction* ou l'approche de modélisation permettant de cacher les détails, la *classification* qui permet d'organiser les connaissances et la *formation de hiérarchies*, c'est-à-dire l'identification de sous-structures. La personnalisation multicritère repose sur une modélisation globale des groupes de visiteurs, décomposée en parties plus simples : les caractéristiques, elles-mêmes décomposées en différentes valeurs possibles, formant ainsi une hiérarchie.

Cependant, le croisement de toutes les valeurs possibles génère un grand nombre de profils, et donc un espace de conception de parcours de visite personnalisés vaste et multidimensionnel, les dimensions étant les caractéristiques des visiteurs. Deux observations d'un exercice prospectif de création de parcours de visite multicritères nous ont ainsi permis d'identifier que le plus complexe pour les professionnels n'est pas de créer le parcours en lui-même mais de se projeter sur les différents profils visiteur et de suivre la progression de la tâche de création (Chapitre 3). Leur objectif n'est évidemment pas de créer une visite pour chacun de ces profils, mais de les identifier, les hiérarchiser et les regrouper afin de capitaliser sur les visites déjà créées et sur celles restant à faire, tout en s'assurant de n'oublier aucun type de visiteur important. Plusieurs itérations de conception nous ont permis de faire émerger un nouveau concept d'interface *MuseoX* permettant d'associer le choix des caractéristiques visiteur constituant un profil et le suivi dynamique de l'avancement de la création des parcours pour chaque combinaison. Nous avons démontré au travers d'une expérimentation avec huit médiateurs culturels que *MuseoX* était bien compris par les médiateurs (94% de bonnes réponses pour la phase de compréhensibilité). Les participants ont en outre souligné l'utilité du concept pour appréhender la diversité des profils visiteur, être exhaustif, systématique et capitaliser sur les parcours créés, en association avec un outil spécifique de création des parcours.

Question 3 : L'interaction tangible peut-elle supporter la tâche de création de parcours de visite personnalisés ? Quels sont les bénéfices et limitations par rapport à l'interaction tactile ?

Nous avons instancié *MuseoX* selon deux modes d'interaction : *MuseoTUI*, un prototype tangible de type token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) et *MuseoGUI*, son équivalent sur tablette tactile (Chapitre 3). Ces deux prototypes ont été testés par huit participants de quatre institutions culturelles. L'objectif de cette expérimentation était de valider l'utilité et la compréhensibilité du concept *MuseoX*, de comparer l'utilisabilité des prototypes tangible et tactile et de recueillir la préférence des utilisateurs. Pour l'utilisabilité, notre hypothèse était que la TUI serait plus satisfaisante (meilleures qualités hédoniques) et que la GUI serait plus efficiente (meilleures qualités pragmatiques, temps de réalisation plus court). Cette hypothèse a été confirmée, les participants ont trouvé *MuseoTUI* plus satisfaisant que *MuseoGUI* pour quasiment toutes les échelles du UEQ (Laugwitz, Held et Schrepp, 2008) et en particulier pour ses qualités hédoniques (attractivité, stimulation et nouveauté). *MuseoGUI* s'est révélé plus satisfaisant uniquement pour l'efficacité ressentie (UEQ) – même si les résultats pour les qualités pragmatiques ne sont pas statistiquement significatifs – et pour le temps mesuré de réalisation de la tâche (efficacité). Ces travaux ouvrent un large champ d'expérimentations nécessaires pour tendre vers une généralisation de ces résultats.

Un peu plus de la moitié des participants a préféré *MuseoTUI* à *MuseoGUI* pour un usage individuel et quasiment tous les utilisateurs l'ont préconisé pour une utilisation collaborative, même si ce n'était pas le cas d'usage testé dans le protocole. Les participants ont indiqué plus de stimulation et de plaisir avec l'instanciation tangible, dont l'aspect ludique et nouveau leur permet de se placer plus facilement dans une « *sphère créative* ». Ils ont ainsi déclaré que la manipulation tangible les aidait à développer leur imagination et soutenait leur processus de réflexion. Ils ont également indiqué que l'incarnation et la manipulation des valeurs des caractéristiques les aidaient à mieux se projeter sur les profils des visiteurs et favorisaient leur empathie.

Trois participants sur huit ont préféré *MuseoGUI*, notamment car le dispositif est moins encombrant. Il est également jugé comme étant plus efficace et permettant de mieux se concentrer. Les participants ont estimé que l'instanciation tactile était plus flexible et permettait plus facilement d'ajouter des raccourcis d'interaction (sélection automatique, échange d'items, remise à zéro) et des fonctionnalités supplémentaires (historique, aide contextuelle).

Question 4 : L'interaction tangible peut-elle aider les visiteurs, seuls ou en groupe, à choisir un parcours personnalisé qui leurs correspond ?

Une démarche de conception participative et itérative nous a permis de concevoir, réaliser et expérimenter un prototype tangible d'aide au choix des parcours de visite personnalisés (Chapitre 4). *Build Your Own Hercules* est une interface tangible de type token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) qui permet aux visiteurs de compléter le buste d'Hercule avec des pièces correspondant à leurs caractéristiques de visite et d'obtenir des parcours de visite personnalisés en fonction. *Build Your Own Hercules* a été installé à l'entrée du musée Saint-Raymond pendant quatre heures et utilisé par 22 visiteurs (six groupes de deux à quatre personnes et huit individuels, soit 14 cas d'évaluation). L'étude pilote a permis de valider la facilité d'utilisation et l'utilité du prototype. La syntaxe d'usage incarnée physiquement grâce au paradigme token+constraint a ainsi été facilement comprise et identifiée comme celle



d'un « puzzle innovant ». La multiplicité des pièces disponibles (valeurs possibles pour les différentes caractéristiques) a transmis aux visiteurs l'idée de la multiplicité des visites possibles dans le musée.

Nos observations ont également donné des premières indications sur les bénéfices des TUI pour l'attractivité et la collaboration dans notre cas d'usage. Nous avons compté au moins 68 personnes qui se sont naturellement intéressées au système (dont les 22 qui l'ont testé), pour un total de 135 visiteurs sur la même période de temps selon le système de billetterie. Nous avons ainsi observé des visiteurs qui souhaitaient interagir avec le système et venaient parfois toucher les pièces mais qui se sont éloignés car il était déjà utilisé par un autre groupe. Cette attractivité (50% de visiteurs intéressés et 16% qui interagissent) semble plus importante, malgré le manque de précision de nos mesures et la plus courte durée d'observation, que les résultats de la littérature pour des interactions avec un écran (Kanis *et al.*, 2012). Concernant la collaboration, nous avons pu observer que dans quatre cas sur six, *Build Your Own Hercules* a favorisé la discussion dans les groupes de visiteurs, et que pour deux de ces cas, il a permis une manipulation à plusieurs. Nous pensons que le caractère *out-of-band* des interactions tangibles sur les systèmes de type *token+constraint* – c'est-à-dire la possibilité de pointer les pièces ou de les bouger en l'air sans qu'il n'y ait d'interprétation de ces interactions par le système (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) – favorise la discussion au sein des groupes.

Question 5 : Quels sont les propriétés et bénéfices des interfaces de type *token+constraint* pour l'incarnation tangible des caractéristiques des visiteurs ?

Le paradigme *token+constraint* (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) est particulièrement adapté à l'incarnation et l'interaction avec des données abstraites (Chapitre 2), telles que les caractéristiques des visiteurs dans la personnalisation multicritère. La constitution d'une grille d'analyse des prototypes de type *token+constraint* (Chapitre 5) nous permet d'affirmer que les deux prototypes tangibles réalisés pour les médiateurs culturels (*MuseoTUI*) et pour les visiteurs (*BYO Hercules*) afin de les aider à appréhender la personnalisation multicritère relèvent du paradigme *token+constraint*. Dans les deux cas les valeurs des caractéristiques des visiteurs sont incarnées dans des *tokens*, et le choix d'une valeur par caractéristique est incarné dans des *constraints*. Les deux prototypes bénéficient ainsi de l'incarnation de la syntaxe d'interaction proposée par le paradigme (propriétés Ps1 à Ps3 de la grille d'analyse Chapitre 5), ce qui a été validé par la bonne compréhension par les utilisateurs de l'usage des prototypes. Ils utilisent en outre des technologies simples et fiables, grâce à l'utilisation des *constraints* pour limiter les zones de détection et simplifier les états possibles du système (propriétés Pi1 à Pi6). Enfin le paradigme *token+constraint* permet des interactions *out-of-band* (en dehors des *constraints* donc non-interprétées par le système, propriété Pc3) qui facilitent les actions exploratoires et donc l'externalisation de la charge cognitive. Des premières pistes nous indiquent que cette propriété supporte le processus de réflexion des médiateurs culturels et la discussion au sein des groupes de visiteurs. Dans le cas d'usage des visiteurs, la simplicité d'intégration du paradigme *token+constraint* nous a de plus permis d'embarquer le système dans une représentation pertinente et cohérente avec l'espace du musée (une statue antique pour un musée d'archéologie).

Question 6 : L'interaction tangible peut-elle aider les visiteurs à suivre un parcours de visite sans prendre le pas sur leur expérience sensorielle du musée ?

À travers plusieurs explorations de conception (*Bourdon de Visite* et *Brochure du Maraudeur*) et la réalisation d'une plateforme d'expérimentation, nous avons mis en évidence la richesse des interfaces tangibles pour transmettre les consignes de guidage à travers divers canaux sensoriels (visuels, audios et haptiques à travers l'utilisation de la chaleur, des vibrations et du changement de forme) et permettre une meilleure répartition de l'attention des visiteurs (Chapitre 6). Nous avons ainsi utilisé le continuum interaction-attention (Bakker, van den Hoven et Eggen, 2015) pour classifier les besoins des visiteurs et concevoir des interfaces « calmes » (Weiser et Brown, 1997) permettant au visiteur de réguler son attention selon les moments de la visite. Les TUI se sont révélées particulièrement pertinentes puisqu'elles peuvent reposer sur des interactions avec des objets usuels, tel que l'usage d'un bâton de marche ou d'une brochure, qui sollicitent peu la vue et facilitent donc les interactions périphériques et la transition fluide le long du continuum interaction-attention. La plateforme d'expérimentation nous permettra dans des travaux futurs de comparer les différentes modalités et leur combinaison pour le guidage dans le musée, ainsi que l'impact des modalités utilisées sur l'expérience de visite en elle-même.

Hypothèse générale : L'incarnation tangible des caractéristiques des visiteurs supporte les activités de création de parcours de visite personnalisés par les médiateurs culturels et de choix par les visiteurs d'un parcours de visite leur correspondant.

Cette hypothèse a été adressée au travers des cinq premières questions de recherche ci-dessus. Pour résumer, la personnalisation multicritère permet de réduire la complexité des profils de groupes de visiteurs à un choix de valeurs pour un ensemble de caractéristiques de visiteurs. *MuseoTUI* incarne ces valeurs et caractéristiques dans des objets physiques lumineux. D'après nos expérimentations, sa tangibilité permet aux médiateurs culturels de se projeter sur les profils des visiteurs et supporte leur processus de réflexion et de création de parcours de visite personnalisés. *Build Your Own Hercules* incarne les valeurs et les caractéristiques du groupe de visiteurs dans un puzzle interactif. Sa tangibilité semble permettre, selon nos premières observations, d'attirer les visiteurs et de favoriser la discussion au sein des groupes. La constitution d'une grille d'analyse heuristique des prototypes de type *token+constraint* nous permet d'affirmer que les deux prototypes tangibles relèvent de ce paradigme et bénéficient donc des propriétés d'incarnation de la syntaxe d'interaction et d'externalisation cognitive.

### 7.1.1. Contributions

Cette thèse apporte les contributions suivantes :

- Proposition d'une approche multicritère pour la personnalisation permettant une plus grande finesse dans la composition des groupes tout en proposant une structure permettant de gérer leur complexité. Extraction d'un socle de caractéristiques de visite commun aux médiateurs culturels et aux visiteurs.

- Conception d'un concept d'interface (*MuseoX*) d'aide au choix des caractéristiques des visiteurs permettant de suivre dynamiquement l'avancement de la création des parcours de visite personnalisés multicritères pour les profils constitués.
- Conception et réalisation de deux instances du concept d'aide à la création de parcours de visite personnalisés multicritères : une tactile (*MuseoGUI*) et une tangible (*MuseoTUI*).
- Évaluation de l'utilisabilité d'une interface tangible d'aide à la composition de profils visiteur pour la création de parcours personnalisés multicritères (*MuseoTUI*) en comparaison d'une interface tactile équivalente (*MuseoGUI*).
- Conception et réalisation d'une interface tangible d'aide au choix de parcours de visite personnalisés pour les visiteurs (*Build Your Own Hercules*).
- Grille d'évaluation heuristique de 24 propriétés réparties en cinq catégories des interfaces tangibles de types token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).

Nous proposons également les contributions secondaires suivantes :

- Préconisations pour la conception d'un outil d'aide à la création de parcours de visite personnalisés multicritères pour les médiateurs culturels
- Préconisations pour la conception d'un outil d'aide au choix de parcours de visite personnalisés par les visiteurs
- Observation in-situ de l'utilisation d'une interface tangible d'aide au choix de parcours de visite personnalisés par les visiteurs d'un musée
- Revue systématique de la littérature citant l'article séminal sur les interfaces de type token+constraint (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).
- Préconisations pour la conception d'un outil de guidage multimodal des visiteurs dans un musée.
- Classification des besoins pour le guidage des visiteurs le long du *continuum d'interaction-attention* (Bakker et Niemantsverdriet, 2016).
- Conception de deux prototypes de guidage, s'inscrivant dans le paradigme des technologies « calmes », dans un musée (*Bourdon de Marche, Brochure du Maraudeur*).
- Conception et réalisation d'une plateforme d'expérimentation pour le guidage multisensoriel (visuel, audio et haptique à travers l'utilisation de la chaleur, des vibrations et du changement de forme) des visiteurs.

## 7.2. Limitations et perspectives

Dans les discussions et conclusions des différents chapitres précédents, nous avons listé un certain nombre de limitations et de perspectives pour nos travaux. Nous en reprenons un certain nombre ici que nous augmentons d'une perspective plus long terme du point de vue de la recherche et également de l'industrie, cette thèse étant réalisée dans le cadre d'un contrat CIFRE.

### 7.2.1. Perspectives de recherche

#### *Création des parcours de visite personnalisés*

La création des parcours de visite personnalisés multicritères telle que nous l'avons conçue se compose de deux parties : la sélection des profils des visiteurs pour lesquels créer les parcours et la création du parcours en lui-même. Nous avons ainsi conçu une application multi-dispositif (*cross-device*, Figure 83) permettant de répartir la composition des profils sur une interface dédiée (MuseoGUI ou MuseoTUI) et la création des parcours de visite sur un grand écran au mur. Nos expérimentations se sont concentrées sur la comparaison des interactions tactiles et tangibles pour la partie composition de profils et nous avons simulé la partie création de parcours. Il serait intéressant d'expérimenter l'application au complet – composition de profils et création de parcours – pour vérifier la cohérence de la répartition des fonctionnalités entre les dispositifs et observer les allers-retours entre les deux. Nous nous interrogeons sur l'apport et les limitations de la division physique des fonctionnalités pour la tâche de création de parcours personnalisés.

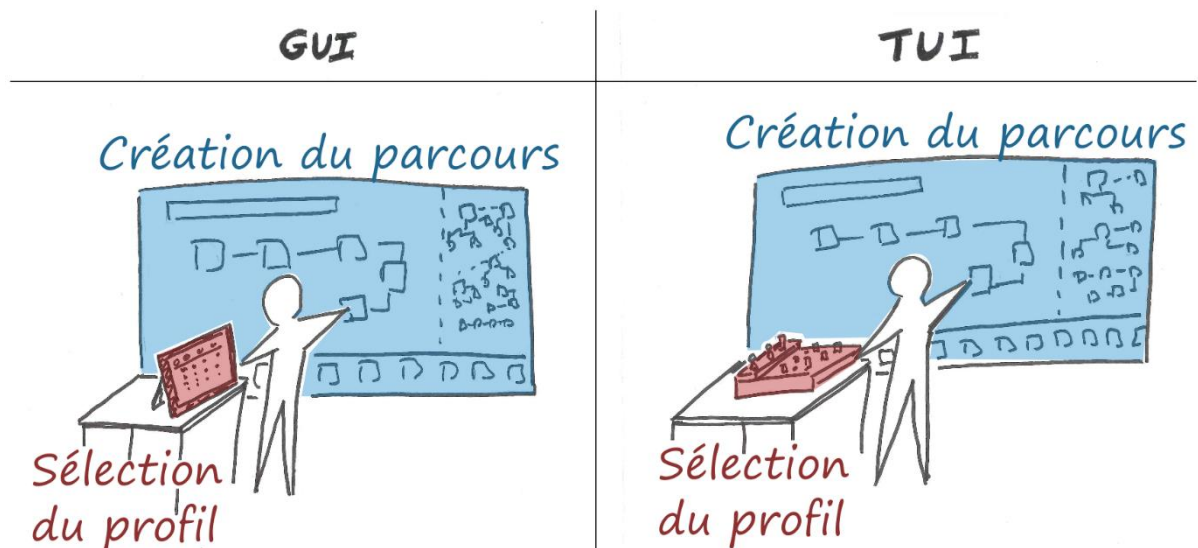


Figure 83 : Application de création de parcours personnalisés répartie sur plusieurs dispositifs : création du parcours sur un écran tactile et sélection du profil des visiteurs sur une interface tactile ou tangible.

Nous souhaiterions également comparer les préférences des utilisateurs pour MuseoTUI ou MuseoGUI dans le dispositif complet. Il serait en effet intéressant de tester si les bénéfices pour la réflexion et la créativité apportés par l'incarnation tangible de MuseoTUI restent pertinents lorsque la tâche de création est réalisée sur une autre interface, tactile de surcroît. Nous pensons que la possibilité de se projeter sur les profils des visiteurs apportée par la TUI resterait un bénéfice dans le cas du dispositif complet. MuseoTUI pourrait permettre en outre une meilleure mémorisation du profil courant sélectionné, la *cognition incarnée* favorisant la mémoire de travail et la mémoire spatiale (Jetter *et al.*, 2012). Des expérimentations devraient être menées dans ce sens afin de comparer les deux prototypes.

Nous avons choisi un dispositif tactile pour la création des parcours de visite à partir d'une bibliothèque des œuvres afin de pouvoir afficher simplement un grand nombre d'œuvres et l'historique de création des parcours, tout en permettant la manipulation directe des éléments,

importante pour certains médiateurs. Nous nous distinguons en cela des travaux existants sur des interfaces d'édition du contenu et des expériences de visite, qui se positionnent sur des interfaces clavier/souris plus classiques (Vayanou *et al.*, 2014 ; Not et Petrelli, 2019). Il serait donc intéressant de mener une expérimentation comparant une version tactile et une version clavier/souris de notre interface de création de parcours de visite afin d'identifier si la manipulation directe des éléments est bénéfique pour le processus de création de parcours de visite personnalisés.

Dans cette thèse, nous avons fait le pari d'augmenter les capacités des médiateurs plutôt que d'avoir recours à une intelligence artificielle permettant de générer les parcours. Pour autant les deux approches sont complémentaires et la génération automatique pourrait être une première étape pour des briques de parcours ou des parcours simples, à réutiliser et affiner par les médiateurs. Une collaboration entre le médiateur et un algorithme d'apprentissage interactif (Fails et Olsen, 2003) pourrait également être mise en place. Cela permettrait aux experts de créer les parcours pour les profils les plus pertinents, ceux-ci servant d'exemples pour une dérivation par une Intelligence Artificielle pour les cas moins probables, entraînée par des allers-retours de validation avec l'utilisateur.

### *Collaboration colocalisée*

Le support pour la collaboration colocalisée est un des bénéfices fréquemment avancé pour les TUI (Hornecker et Buur, 2006 ; Falcão et Price, 2009 ; Kubicki, Lepreux et Kolski, 2011 ; Schneider *et al.*, 2011). La création de parcours de visite se fait parfois en équipe de plusieurs médiateurs culturels, et ceux-ci ont souligné l'intérêt que MuseoTUI pourrait apporter dans ce contexte, même si cela ne faisait pas partie de notre protocole expérimental. Cet aspect mériterait d'être étudié plus en détail à travers une expérimentation de MuseoTUI pour la création de parcours de visite personnalisés avec des équipes de plusieurs médiateurs culturels. L'analyse vidéo des interactions des médiateurs avec les figurines tangibles permettrait d'évaluer la distribution des interactions et l'usage parallèle ou séquentiel de ceux-ci. Elle pourrait également nous permettre de classer les différents types d'interactions, entre *in-band* (interprété par le système) et *out-of-band* (en dehors des socles et donc non interprété par le système), et nous permettrait de déterminer si le prototype favorise l'utilisation de gestes épistémiques supportant le dialogue et la coordination des médiateurs. Il nous faudrait encoder pour cela la concomitance des différents types d'interaction avec la parole et les regards des participants et utiliser par exemple le framework de codage ATB qui permet de quantifier les stratégies épistémiques en tangible (Esteves *et al.*, 2015). Ce protocole pourrait être mené avec les deux prototypes MuseoTUI et MuseoGUI afin d'évaluer la proportion respective d'interactions *out-of-band* sur le système token+constraint et en tactile.

L'étude pilote de *Build Your Own Hercules* au musée Saint-Raymond suggère que le prototype favorise la discussion au sein des groupes de visiteurs, et dans une moindre mesure la manipulation conjointe. Ces premiers éléments de collaboration doivent être explorés plus avant au moyen d'une expérimentation appropriée, en positionnant le prototype au sein du musée pour permettre une meilleure captation vidéo et en appliquant des techniques de codage ou de micro-analyse (Hornecker et Ciolfi, 2019). Dans ce cas également, la classification

des interactions *in-band* et *out-of-band* combinée ici à l'étude des dialogues entre les visiteurs pourrait nous permettre de déterminer si le prototype supporte la collaboration et la négociation au sein du groupe. Il serait également intéressant d'observer sur un échantillon plus grand la proportion des différentes configurations de groupes observées lors de l'étude pilote : un manipulateur sans interaction avec le reste du groupe, un manipulateur qui discute avec les autres membres ou plusieurs manipulateurs (conjointement ou séquentiellement).

Ces deux études pourraient nous permettre de valider expérimentalement la suggestion de Ullmer, Ishii et Jacob (2005) : « *Nombre [des] avantages [des systèmes token+constraint] sont susceptibles de servir la communication interpersonnelle et la collaboration colocalisée. Nous pensons qu'il serait préférable de les évaluer par des expériences en situation réelle plutôt que par des expériences contrôlées* ».

### *Guidage et adaptation dynamique*

Les travaux sur le suivi du parcours de visite personnalisé présentés dans cette thèse sont une première ébauche d'exploration du « guidage calme » dans les musées. La plateforme d'expérimentation réalisée peut permettre de mettre en place des expérimentations sur les différentes modalités d'interaction et les différents types de guidage. Il serait ainsi intéressant de comparer les différents canaux sensoriels dans une tâche de suivi de parcours : le canal visuel précis avec l'écran et imprécis par les LED ; le canal haptique avec les vibrations, les mouvements de la partie mobile et les changements de température ; et le canal auditif avec des indications textuelles ou des indications sonores. Ceux-ci sont à comparer non seulement par rapport au canal sensoriel utilisé, mais également par rapport au type d'indication donné pour le guidage (suivi de carte, direction, recherche de points clés ou déviation du chemin suivi). La conjonction de plusieurs modalités, telle que regarder la carte et avoir des indications haptiques de direction, peut également être intéressante à expérimenter, une vue d'ensemble permettant d'augmenter la confiance des utilisateurs dans les consignes de navigation haptiques (Pielot *et al.*, 2011). Le protocole expérimental devra proposer une tâche visuelle à exécuter en parallèle afin de déterminer quel mode de guidage est le plus efficace tout en préservant l'attention du visiteur pour les œuvres et la visite du musée en soi. Il serait également intéressant de tester s'il existe des différences entre le guidage individuel et celui en groupe (avec un prototype pour le groupe, ou un prototype par personne).

Les résultats de cette expérimentation pourraient ainsi nous permettre d'itérer sur la conception de la Brochure du Maraudeur et adapter son scénario d'usage en fonction des types de guidage et des canaux sensoriels les plus pertinents selon le type d'interaction explicite ou périphérique. Un prototype d'accompagnement des visiteurs le long de la visite ouvre également de nouvelles opportunités, telle que par exemple, la possibilité pour les visiteurs d'adapter leur visite en temps réel en fonction de l'évolution de leurs caractéristiques et de leurs envies. Ainsi les visiteurs pourraient modifier la durée ou la motivation qu'ils ont renseignées en arrivant au musée, se séparer en sous-groupes ou changer complètement de thématique en cours de parcours.

Cela complexifie la création de ces parcours de visite en amont par les médiateurs culturels, afin de conserver la cohérence du fil narratif malgré les modifications dynamiques. Le projet

CHESS (Vayanou *et al.*, 2014) adresse cette problématique de modification dynamique de la narration par une représentation en graphe, mais celle-ci est complexe pour les professionnels du musée (Not et Petrelli, 2019). En outre, leurs expérimentations ont démontré que les visiteurs percevaient l'histoire comme étant trop fragmentée (Roussou et Katifori, 2018). Le projet meSch propose un système de tags pour les experts du contenu, et de scripts décrivant les règles d'association pour les experts techniques. Il nécessite donc des équipes pluridisciplinaires. Parmi les musées auprès desquels nous avons mené notre analyse initiale, les plus petits d'entre eux ne possédaient pas d'expertise technique en interne. Il serait donc intéressant d'explorer la piste d'un outil d'édition de narration adaptative, peut-être moins ambitieux que celui du projet meSch mais utilisable par des utilisateurs non informaticiens. Quelques pistes ont été évoquées par les médiateurs culturels à ce sujet lors de nos entretiens. Ainsi un expert imaginait fournir aux visiteurs une sorte de carte de métro créée par les médiateurs, chaque ligne étant une thématique et chaque station un expôt, qui permettrait aux visiteurs de choisir s'ils souhaitent changer de thématique en cours de visite. Une autre médiatrice imaginait construire le récit selon des chapitres, chaque chapitre ayant des œuvres principales et secondaires, ce qui permettrait au système d'adapter dynamiquement la durée en ajoutant ou supprimant des œuvres. L'exploration de ces pistes relève d'un projet de recherche à intégrer dans le champ disciplinaire du développement par l'utilisateur final (« *end-user programming* »).

### 7.2.2. Perspectives industrielles

Les différents prototypes présentés dans cette thèse peuvent être envisagés dans une suite d'outils pour la personnalisation des visites dans les musées, tirant parti d'un même outil central de gestion des parcours personnalisés (Figure 84) : 1) les médiateurs culturels créent les parcours de visite personnalisés (composition des profils multicritères et création de la narration), 2) les visiteurs choisissent un parcours qui leur correspond parmi ceux préparés par les médiateurs, 3) les visiteurs suivent le parcours à l'aide d'un compagnon de visite géolocalisé dans le musée, 4) les professionnels du musée analysent les traces de visite et peuvent modifier ou créer de nouveaux parcours en fonction des comportements réels des visiteurs. Plus largement, ces perspectives de travaux s'inscrivent dans la conception globale d'un système d'information et des outils de gestion associés pour piloter l'activité entière d'un musée.

La dernière partie d'analyse des traces de visite permet de répondre aux besoins des médiateurs tels que recueillis lors de notre analyse. Ils souhaitent en effet vérifier l'adéquation des parcours créés avec la réalité vécue par les visiteurs. Ils pourraient ainsi vérifier que le temps passé à suivre le parcours correspond à leur estimation. L'outil peut également leur permettre de détecter si un point du parcours entraîne un décrochage des visiteurs ou si d'autres œuvres hors parcours sont fréquemment consultées et méritent d'être intégrées.

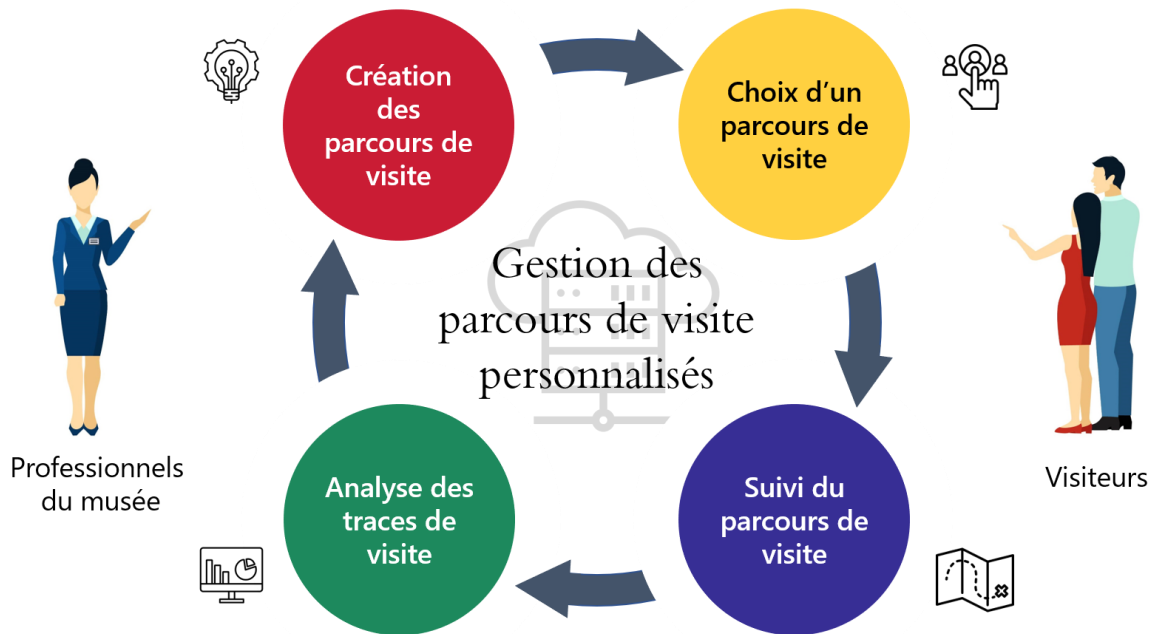


Figure 84 : Suite d'outils pour la personnalisation des parcours de visite. Illustrations personnages par macrovector, carte au trésor par flaticon (Freepik)

L'analyse des traces peut servir à itérer sur les parcours personnalisés une fois ceux-ci créés, mais elle peut également être utilisée comme point d'entrée si des données de visites libres existent déjà. Dans le cadre des collaborations engagées pour la thèse, les professionnels de la Cité du Vin à Bordeaux se sont montrés très intéressés par la valorisation et l'interprétation des traces de visites de leurs visiteurs. Ils possèdent un premier échantillon de traces anonymisées correspondant à un an de visites, recueillies grâce au Compagnon de Visite, un dispositif numérique permettant aux visiteurs de déclencher des séquences audio par scan infrarouge des différents modules du parcours permanent. Les fichiers de logs contiennent la langue, le profil d'âge et la situation de handicap ainsi que les informations de démarrage et d'arrêt des contenus audio. Nous avons ainsi relevé un ensemble d'éléments d'analyse souhaités :

- Le nombre de visiteurs uniques ayant écouté chaque module et chaque séquence.
- Les temps moyens passés pour le parcours global, par module et par séquence audio. Les temps sont plus pertinents pour déterminer l'intérêt des visiteurs que le simple taggage. Ils sont à normaliser par rapport à la durée totale des séquences.
- Le nombre moyen de séquences déclenchées par les visiteurs dans une visite.
- Visualisation spatiale des analyses des circuits de visite : points chauds et froids, embouteillages et embranchements privilégiés.
- Les circuits de circulation préférentiels globaux.
- L'existence éventuelle de typologies de parcours associées à des typologies de visiteurs à définir (par exemple des papillonneurs qui essaient un peu tout sans finir, des assidus qui vont au bout de chaque séquence...)



Nous avons ainsi nettoyé les fichiers de logs et commencé à visualiser sur des outils de visualisation simples (Kibana) la fréquentation unique et la durée moyenne d'écoute par module des séquences audio. Ces travaux de visualisation sont en cours et doivent être poursuivis en s'inspirant par exemple des résultats de Lanier *et al.* (2017). Ils vont également être enrichis des résultats des travaux pluridisciplinaires (géographes et informaticiens) effectués dans le cadre du projet région Nouvelle-Aquitaine « Dispositif d'Analyse des Traces numériques pour la valorisation des Territoires Touristiques » (DA3T<sup>31</sup>), dont Berger-Levrault est partenaire. Ce projet s'intéresse non seulement au suivi et à l'analyse des traces des visiteurs en intérieur dans les musées, mais également à celui des touristes en extérieur au niveau des territoires. Ces perspectives de travaux s'inscrivent dans un cadre plus large de la gestion du patrimoine culturel et touristique d'un territoire.

---

<sup>31</sup> Lien vers la page du projet : <https://lienss.univ-larochelle.fr/DA3T>, consultée le 02/03/2020

# Annexes

---

8. Annexes .....	186
8.1. Liste des publications de l'auteur .....	186
8.2. Glossaire .....	188
8.3. Annexe 3A : Protocole Expérimental (Chapitre 3) .....	192
8.4. Annexe 3B : Résultats Expérimentation (Chapitre 3) .....	211
8.5. Annexe 4A : Questionnaires semi-directifs (Chapitre 4) .....	214
8.6. Annexe 4B : Questionnaires Internet (Chapitre 4).....	215
8.7. Annexe 4C : Storyboards Colonne et Hercule (Chapitre 4).....	219
8.8. Annexe 5A : Revue Systématique de Littérature <i>token+constraint</i> (Chapitre 5) .....	221

## 8. Annexes

---

### 8.1. Liste des publications de l'auteur

Communications dans une conférence internationale avec comité de lecture et avec actes

(Soumission en cours) **Stéphanie Rey**, Anke M. Brock, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture. Guiding visitors in museums with calm interactions. In *Proceedings of the 4th European Tangible Interaction Studio (ETIS 2020)*.

**Stéphanie Rey**, Nadine Couture, Célia Picard, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Anke M. Brock. 2020. Designing Tangible Tools for the Creation of Personalized Visits by Museum Professionals. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI'20)*. ACM, New York, NY, USA, 487–493. DOI: <https://doi.org/10.1145/3374920.3374977>.

**Stéphanie Rey**, Célia Picard, Yanis Fatmi, Fanny Franco, Sarah Guilbert, Jérémie Manéré, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture, and Anke M. Brock. 2020. Build Your Own Hercules: Helping Visitors Personalize their Museum Experience. In *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI'20)*. ACM, New York, NY, USA, 495–502. DOI: <https://doi.org/10.1145/3374920.3374978>.

Sylvain Pauchet, Jean-Luc Vinot, Catherine Letondal, Alexandre Lemort, Claire Lavenir, Timothée Lecomte, **Stéphanie Rey**, Valentin Becquet, and Guillaume Crouzet. 2019. Multi-plié: A Linear Foldable and Flattenable Interactive Display to Support Efficiency, Safety and Collaboration. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'19)*. ACM, New York, NY, USA, Paper 154, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300384>.

Catherine Letondal, Jean-Luc Vinot, Sylvain Pauchet, Caroline Boussiron, **Stéphanie Rey**, Valentin Becquet, and Claire Lavenir. 2018. Being in the Sky: Framing Tangible and Embodied Interaction for Future Airliner Cockpits. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI'18)*. ACM, New York, NY, USA, 656–666. DOI: <https://doi.org/10.1145/3173225.3173229>.

**Stéphanie Rey**. 2017. Museomix: lessons learned from an open creative hackathon in museums. In *Proceedings of the 3rd European Tangible Interaction Studio (ETIS 2017)*, Dimitra Anastasiou; Valérie Maquil, Esch/Alzette, Luxembourg. pp.5.

Journal national avec comité de lecture

**Stéphanie Rey**, Christophe Bortolaso, Anke M. Brock, Célia Picard, Mustapha Derras, Nadine Couture. 2020. Interaction hommes-machine et personnalisation des visites : Enjeux et perspectives critiques. In *Culture & Musées*, 35 | 2020, 77-106.

Communications dans une conférence nationale avec comité de lecture et avec actes

**Stéphanie Rey**, Pierre Mauriéras, Célia Picard, Anke Brock. 2018. Totem de Personnalisation : Conception d'une Interface Tangible pour le Choix de Parcours de Visite dans les Musées. In *30e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (Prix du meilleur Travail en Cours)*. Brest, France. pp.219-226.

Démonstration

**Stéphanie Rey**, Célia Picard, Yanis Fatmi, Fanny Franco, Sarah Guilbert, Jérémy Manéré, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture, Anke Brock. 2019. Build Your Own Hercules : une interface tangible de choix de parcours de visites personnalisées au musée. In *31e conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (Prix de la meilleure démonstration)*. Grenoble, France.

## Posters

**Stéphanie Rey**. 2018. Outil de gestion pour la création de parcours de visites personnalisées dans le contexte des musées. In *30e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine (Rencontres Doctorales)*. Brest, France. pp.22-26.

**Stéphanie Rey**, Anke Brock, Célia Picard, Christophe Bortolaso, Mustapha Derras, Nadine Couture. 2018. Individualized Visits to Foster the Engagement and the re-visit in Museums. In *ESOF 2018, EuroScience Open Forum*, Toulouse, France.

## 8.2. Glossaire

**Bring Your Own Device (BYOD) :** Cette approche permet aux visiteurs d'utiliser leurs appareils personnels pour accéder au contenu numérique proposé par le musée. Elle est notamment plébiscitée dans les petits musées car elle permet de ne pas avoir à gérer la location et la maintenance des dispositifs numériques d'accompagnement de la visite.

**Cartel :** Étiquette accompagnant et documentant chaque œuvre ou objet. Il comporte quelques informations minimales, titre, auteur, date ou lieu. Certains peuvent être plus développés et donner des indications ou des explications sur un objet, un groupe ou un mouvement artistique. Ils sont le complément des textes informatifs plus généraux présents dans les salles d'un musée.<sup>32</sup>

**Cognition distribuée :** La cognition distribuée est une théorie, introduite par Hutchins (1995) qui prend en compte l'aspect social et l'environnement physique dans l'analyse de la cognition humaine.

**Collection :** Ensemble d'objets matériels ou immatériels inventoriés, classés et documentés.

**Conception Centrée Utilisateur (CCU) :** « la conception centrée sur l'utilisateur place l'utilisateur au centre du processus de conception, depuis l'analyse initiale des besoins des utilisateurs jusqu'aux tests et à l'évaluation » (Beaudouin-Lafon et Mackay, 2003). Elle est régie par la norme internationale ISO 13407<sup>33</sup>.

**Conservateur :** Le conservateur de musée exerce des fonctions scientifiques de haut niveau mais également administratives. Il est responsable de l'enrichissement, de la conservation, de l'étude, de la mise en valeur et de la diffusion des collections dont il a la charge.<sup>34</sup>

**Continuum interaction-attention :** Bakker et Niemantsverdriet (2016) proposent un continuum pour appréhender l'interaction à divers niveaux d'attention : *interaction explicite* lorsqu'un contrôle détaillé est nécessaire, *interaction périphérique* pour une activité de routine pour laquelle un contrôle imprécis suffit et *interaction implicite* lorsqu'aucun contrôle n'est nécessaire ou qu'aucune attention n'est disponible.

**Épistémique :** Une action est définie comme épistémique par opposition à une action dite pragmatique, c'est-à-dire réalisée afin d'atteindre un but précis. Les actions épistémiques n'ont pas de conséquence fonctionnelle mais permettent de mieux comprendre le problème en révélant des informations cachées ou difficiles à calculer mentalement (Kirsh et Maglio, 1994). Par exemple : tourner les pièces du Tetris plusieurs fois afin de visualiser les combinaisons possibles, pointer du doigt une ligne de texte pour lire plus facilement, faire des piles de dix pour compter des pièces, etc.

---

<sup>32</sup> <http://www.louvre.fr/media-dossiers/exposer-des-oeuvres-au-musee/definitions>. Consulté le 03/03/2020.

<sup>33</sup> International Organization for Standardization. (1999). ISO 13 407:1999, Human-centered design processes for interactive systems

<sup>34</sup> <https://www.louvre.fr/conservateur-de-mus%C3%A9e-0>. Consulté le 03/02/2020.

Étude d'élicitation : Type spécifique de conception participative dans laquelle le concepteur montre aux participants des références (ex : les effets d'une action, un texte) et leur demande de fournir les symboles correspondants (ex : les interactions qui aboutissent à l'action, l'icône représentant le texte). Le but est d'augmenter la « *guessability* » des symboles utilisés, pour permettre à un utilisateur d'accéder aux références prévues sans avoir besoin de connaître les symboles au préalable (Wobbrock *et al.*, 2005 ; Vatavu et Wobbrock, 2015).

Exposition : « Ce terme – comme sa forme abrégée "l'expo" – désigne à la fois l'acte de présentation au public de choses, les objets exposés (les expôts) et le lieu dans lequel se passe cette présentation ». (André Desvallées et François Mairesse. 2010. *Concepts clés de muséologie*<sup>35</sup>.)

Expôts : « Unité élémentaire mise en exposition, quelles qu'en soient la nature et la forme, qu'il s'agisse d'une vraie chose, d'un original ou d'un substitut, d'une image ou d'un son. Selon la forme prise par l'exposition et sa nature, il peut s'agir d'un simple objet de musée, d'une unité écologique ou même d'une installation complexe » (André Desvallées, 1998).

Interaction Homme-Machine (IHM) : Elle est définie par l' Association for Computing Machinery's Special Interest Group on Computer Human Interaction (ACM SIGCHI) comme « la discipline qui se consacre à la conception, l'évaluation et la mise en œuvre de systèmes informatiques interactifs pour l'usage humain ainsi qu'à l'étude des phénomènes majeurs qui les entourent » (Hewett *et al.*, 1992). Cette discipline intègre des méthodes d'analyse inspirées de l'ethnographie et des sciences sociales afin d'étudier les comportements humains, et des méthodes de conception venant du design et de l'ingénierie, pour proposer les outils numériques et les interactions les plus adaptées avec ceux-ci.

Interface Utilisateur Graphique (GUI) : En informatique, une interface graphique (en anglais GUI pour *graphical user interface*) ou un environnement graphique est un dispositif de dialogue homme-machine, dans lequel les objets à manipuler sont dessinés sous forme de pictogrammes à l'écran, de sorte que l'usager peut utiliser en imitant la manipulation physique de ces objets avec un dispositif de pointage, le plus souvent une souris<sup>36</sup>.

Interfaces Utilisateurs Tangibles ou Interactions Utilisateurs Tangibles (TUI) : « Les systèmes qui reposent sur l'interaction incarnée, la manipulation tangible, la représentation physique des données et l'intégration dans l'espace réel. » (Hornecker et Buur, 2006).

Médiation, Médiateur Culturel : « En muséologie, le terme de médiation est, depuis plus d'une décennie, fréquemment utilisé en France et dans la francophonie européenne, où l'on parle de « médiation culturelle », de « médiation scientifique » et de « médiateur ». Il désigne essentiellement toute une gamme d'interventions menées en contexte muséal afin d'établir des ponts entre ce qui est exposé (le voir) et les significations que ces objets et sites peuvent revêtir (le savoir). [...] Il s'agit donc d'une stratégie de communication à caractère éducatif qui mobilise autour des collections exposées des technologies diverses, pour mettre à la portée

<sup>35</sup> <https://icom.museum/en/ressource/concepts-cles-de-museologie/>. Consulté le 27/03/2017.

<sup>36</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface\\_graphique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface_graphique). Consulté le 11/03/2020.

des visiteurs des moyens de mieux comprendre certaines dimensions des collections et de partager des appropriations. » (André Desvallées et François Mairesse. 2010. *Concepts clés de muséologie*.<sup>2</sup>)

Musée : « Un musée est une institution permanente sans but lucratif au service de la société et de son développement, ouverte au public, qui acquiert, conserve, étudie, expose et transmet le patrimoine matériel et immatériel de l'humanité et de son environnement à des fins d'études, d'éducation et de délectation » (définition de 2007 de l'ICOM<sup>37</sup>, conseil international des musées). Une nouvelle définition est en cours mais a soulevé de nombreux débats qui mettent en évidence les enjeux et injonctions pesant actuellement sur les musées.

Muséologie : La science du musée dans le sens le plus large. Discipline qui a pour champ de recherche la notion de musée, la réflexion théorique et historique sur sa nature, son rôle et ses diverses formes. Englobe tous les types de musées et d'approches pour les étudier.<sup>5</sup>

Muséographie, Muséographe : Dans un musée ou dans une exposition, la part de la « muséographie » est celle qui a trait aux contenus, au scénario du parcours et aux modalités de la médiation entre un thème et des visiteurs. Plus généralement, la muséographie désigne l'aspect pratique du champ muséal (par l'exemple, l'aménagement du musée, la conservation, la restauration, la sécurité et l'exposition). (Les muséographes | Collectif professionnel – Association loi 1901<sup>38</sup>)

Parcours de visite : « Cheminement physique et intellectuel dans une exposition. Celui proposé par le musée mais aussi son résultat, c'est-à-dire celui construit par chaque visiteur durant sa visite. C'est le fil conducteur du musée et de sa réception, il représente matériellement la conception d'ensemble d'une exposition. »<sup>39</sup>

Persona : « Les personas sont des représentations fictives, spécifiques et concrètes des utilisateurs cibles » (Adlin et Pruitt, 2010).

Personnalisation : La personnalisation permet au système d'adapter automatiquement le contenu en fonction d'un profil utilisateur, renseigné de manière explicite ou implicite.

Politique des publics : « Le département de la politique des publics : assure le développement des pratiques culturelles, de l'action éducative et pédagogique en direction des publics. Il veille également à l'amélioration des conditions d'information, d'accueil et de confort du public et contribue à la cohérence et à l'orientation des politiques tarifaires. Il œuvre à la mise en place de politiques de développement culturel appliquées à l'éducation artistique, aux publics spécifiques et à la formation aux métiers de la médiation. Il participe à la politique de diffusion scientifique et culturelle et coordonne la politique de valorisation culturelle. » (Définition du ministère de la Culture<sup>40</sup>)

---

<sup>37</sup> <http://icom.museum/fr/activites/normes-et-lignes-directrices/definition-du-musee/>. Consulté le 03/02/2020.

<sup>38</sup> <http://les-museographes.org/museographie/notre-approche/>. Consulté le 03/02/2020.

<sup>39</sup> <http://www.louvre.fr/media-dossiers/exposer-des-oeuvres-au-musee/definitions>. Consulté le 03/03/2020.

<sup>40</sup> <https://www.culture.gouv.fr/Nous-connaître/Organisation/La-direction-generale-des-patrimoines/Departement-de-la-politique-des-publics>. Consulté le 03/02/2020.

Réalité Augmentée (RA) : La réalité augmentée « a pour but d'enrichir la perception et la connaissance d'un environnement réel par l'ajout d'informations numériques le concernant. Ces informations sont le plus souvent visuelles, parfois sonores, rarement haptiques. ». (Arnaldi, Guitton et Moreau, 2018)

Radio Frequency IDentification (RFID) : L'identification par radiofréquence utilise des champs électromagnétiques pour identifier des tags fixées sur des objets.

Service des publics : « Chaque musée labellisé Musée de France dispose d'un service ayant en charge les actions d'accueil du public, de diffusion, d'animation et de médiations culturelles. Le cas échéant, ce service peut être commun à plusieurs musées. » Article 7 de la loi musée du 4 janvier 2002.

Token+constraint (T+C) : Le paradigme *token+constraint* décrit des interfaces composées de jetons tangibles (*tokens*) qui incarnent des données numériques et de réceptacles physiques pouvant les contenir (*constraints*) qui incarnent les fonctions numériques à leur appliquer. (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).

Utilisabilité : « Le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié ». Norme ISO 9241-11:2018<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/63500.html>. Consulté le 02/03/2020



## 8.3. Annexe 3A : Protocole Expérimental (Chapitre 3)

### Protocole expérimental – plan général

Texte d'introduction (10 min)

- Formulaire consentement éclairé (+ droit à l'image)
- Donner bon cadeau
- Expliquer le dispositif global avec création de parcours + choix profil
- Déroulé du test et but du test

Questionnaire personnel

(contrebalancer TUI ou GUI)

Familiarisation : Explication + Manip libre (10 min)

- Expliquer profil visiteur = combinaison de critères
- Expliquer les différentes zones : sélection / stockage
- Expliquer les couleurs/luminosités
- Expliquer les différents boutons : créer parcours / profil impossible => lien autre interface
- + bugs potentiels

(contrebalancer questionnaire A ou B)

Compréhension : Serveur 'observation' (10 min)

- Questionnaire à Choix Multiples (tests de compréhension de couleurs, zones, profils)  
⇒ Donner la lettre

Manipulation dirigée : (10 min)

- Tâches à accomplir selon directives (dire que créer parcours = push btn sans création réelle)  
⇒ Dire top au début et à la fin

2 x

Manipulation libre : (10 min)

- Traiter le plus possible de profils en créant un maximum de parcours différents sur une thématique (avoir 2 thématiques)  
⇒ Enregistrer le parcours dans micro pour simuler autre interface

Questionnaires de satisfaction : (10 min)

- UEQ
- 3 points positifs / négatifs du prototype ?
- Qu'est-ce que vous amélioreriez ?
- Est-ce que vous vous imagineriez utiliser cet outil dans votre travail quotidien ?

Pause (5 min)

(Recommencer familiarisation pour l'autre device, et compréhension/manip autre questionnaire)

Quel système est préféré et pourquoi ? + discussion (utilisation couleurs zone stockage, manipulation figurines, stratégie) (5 min)

## Protocole expérimental – Introduction & Familiarisation

Faire signer le formulaire de consentement éclairé

### Introduction

Vous allez participer à une expérience portant sur un outil de création de parcours de visites personnalisés qui pourrait un jour être utilisé dans votre musée. Cet outil fait partie d'une suite d'outils : un pour la création du parcours en soi (choix des œuvres et organisation) et un pour sélectionner les profils des visiteurs pour lesquels créer le parcours. L'étude d'aujourd'hui porte uniquement sur cet outil de choix des profils de visiteurs. La partie création du parcours sera donc simulée. Nous allons vous faire essayer deux prototypes différents et vous demander lequel vous préférez. Nous prévoyons une durée de 2h00 pour cette expérience au total.

Pour chacun des prototypes, vous allez tout d'abord pouvoir vous familiariser avec le fonctionnement. Ensuite nous vous poserons une série de questions pour voir si le prototype est compréhensible. Enfin vous pourrez le tester en le manipulant d'abord selon des consignes puis librement. Nous recommencerons alors les mêmes étapes avec l'autre prototype. Entre chaque prototype et à la fin de l'expérience, nous allons vous poser quelques questions.

Dans cette expérience, nous voulons détecter les forces et les faiblesses de nos prototypes. Nous n'évaluons pas votre faculté à créer des parcours de visite ou à interagir avec les prototypes. Les questions sont là pour tester le prototype et non pas vous. Il n'y a donc pas de bons ni de mauvais participants.

Vous pourrez poser des questions à tout moment. Vous avez le droit d'arrêter définitivement l'expérience quand vous le souhaitez, sans avoir à vous justifier. Avez-vous bien compris ? avez-vous des questions ?

Faire remplir questionnaire perso

### Familiarisation GUI & TUI

Nous allons maintenant passer à la phase de familiarisation avec le premier/deuxième prototype. Cette interface vous propose plusieurs critères de visiteur, ils sont classés par colonnes : la première représente le nombre de visiteurs, la 2<sup>ème</sup> l'âge du plus jeune visiteur d'un groupe, la 3<sup>ème</sup> la durée de la visite, la 4<sup>ème</sup> la situation de handicap d'une ou plusieurs personnes du groupe (aucun handicap etc.), la 5<sup>ème</sup> l'envie du/des visiteur(s), la 6<sup>ème</sup> le niveau de connaissance du/des visiteur(s) (montrer les colonnes et les icônes).

Le prototype consiste en une zone de stockage, et une zone de sélection (en haut). Tous les critères sont pour l'instant dans la zone de stockage. Vous pouvez en sélectionner un par colonne en le plaçant sur la zone du haut (montrer sélectionner 1 personne). Vous pouvez sélectionner jusqu'à 6 critères en même temps pour constituer un profil visiteur (montrer : 1 p + 3-6 ans). Vous n'êtes pas obligé de choisir une valeur pour tous les critères.

Pour ce profil, vous pouvez soit le déclarer impossible (montrer : appuyer sur impossible), soit vous pouvez créer un parcours pour ce profil (montrer : sélectionner 1 p + adulte et dire qu'on crée sur autre interface et appui bouton créer). Vous pouvez ensuite raffiner ce parcours en ajoutant d'autres critères à la sélection (montrer ajouter 30min et créer parcours). Comme indiqué au début, la partie création de parcours sera simulée pour le moment.

Les couleurs/luminosités des pièces vous indiquent à quel point vous avez traité ce critère, c'est-à-dire à quel point vous avez créé des parcours pour celui-ci (tout désélectionner). Quand tout est dans la zone de stockage, la couleur indique le traitement du critère seul (montrer couleur et expliquer sur légende GUI/TUI). Dès que vous sélectionnez un critère, les couleurs se mettent à jour pour vous indiquer à quel point vous avez traité chaque critère en combinaison avec le critère sélectionné (sélectionner 1 personne, et montrer couleur de 3-6 ans et adulte=> expliquer combinaison et déplacer les figurines pour montrer changement couleur). Cela vous permet de voir les profils (combinaison de critères) plus ou moins traités, afin de voir ce qu'il vous reste à faire et vous aider à cibler les profils pour lesquels vous voulez faire des parcours.

Est-ce que cela vous paraît clair ? Sinon n'hésitez pas à poser des questions. Je vous laisse maintenant manipuler le prototype, essayez par exemple de sélectionner des critères et de créer des parcours. N'hésitez pas à me poser des questions. Quand vous vous sentez à l'aise dites le moi pour que nous passions à la suite.

# Expérimentation : questionnaire personnel

Voir

Modifier

Formulaire

Résultats

Partager

Début

Terminé

Code participant

Quel est votre âge ?

Quel est votre genre ?

Quel est votre niveau d'étude ?

Quel est votre poste ?

Combien avez-vous d'années d'expérience à ce poste ?

Depuis combien de temps travaillez-vous dans cette institution ?

A quelle fréquence créez-vous des parcours de visite ?

Est-ce que vous êtes gaucher ou droitier ?

- Droitier  
 Gaucher  
 Ambidextre

Etes-vous daltonien, ou avez-vous des difficultés à distinguer les couleurs ?

- Non  
 Oui

Avez-vous des problèmes articulaires, ou de mobilité des membres supérieurs ?

- Non  
 Oui

Lesquelles des technologies suivantes utilisez-vous ?

- Ordinateur  
 Téléphone portable avec écran tactile  
 Téléphone portable avec boutons  
 Tablette  
 Autre

Est-ce que vous êtes à l'aise quand vous utilisez des écrans tactiles (smartphone, tablette) ?

- 1 (pas du tout)  
 2  
 3  
 4  
 5 (tout à fait)  
 Sans réponse

Quelle est la fréquence avec laquelle vous utilisez des nouvelles technologies ?

Soumettre

Ne transmettez aucun mot de passe via Framiforms.

**Questionnaire d'observation Version A****1 réponse possible par question****Q1. Quel critère a été le plus traité ?**

- a) Expert
- b) 3-6 ans
- c) 1 personne
- d) 2 personnes

**Q2. Quel critère a été le moins traité ?**

- a) 30 min
- b) 1 heure
- c) Cognitif
- d) Auditif

**Q3. Combien de critères ont été complètement traités ?**

- a) 0
- b) 1
- c) 3
- d) 13

**Q4. Lequel de ces classements est correct ? (A > B veut dire A est plus traité que B)**

- a) 30min > Débutant > Expert > 1h
- b) Expert > 30min > 1h > Débutant
- c) 1h > Débutant > Expert > 30min
- d) Débutant > 30 min > 1h > Expert

**Q5. Quel(s) critère(s) sont sélectionnés ?**

- a) 3-6 ans
- b) Auditif
- c) Expert et Débutant
- d) Tous les critères

**Q6. Combien y a-t-il de critères sélectionnés ?**

- a) 4
- b) 6
- c) 12
- d) 16

**Q7. Pourquoi Expert est de cette couleur ?**

- a) Il a été entièrement traité
- b) Il n'a pas du tout été traité
- c) L'interface a planté
- d) Il ne peut pas être sélectionné actuellement

**Q8. Quelle combinaison de critères a déjà été traitée ?**

- a) 1 personne – 3-6 ans
- b) 1 personne – 7-12 ans
- c) 1 personne – 30 min
- d) Aucun d'entre eux

**Q9. Le profil 1p – 3-6ans – 30min – Aucun – Apprendre – Débutant est :**

- a) Entièrement traité
- b) Partiellement traité
- c) Pas du tout traité
- d) On ne peut pas savoir

**Questionnaire d'observation Version B****1 réponse possible par question****Q1. Quel critère a été le plus traité ?**

- a) 30 min
- b) Aucun handicap
- c) Jouer
- d) Apprendre

**Q2. Quel critère a été le moins traité ?**

- e) 1 personne
- f) Apprendre
- g) Expérimenter
- h) Auditif

**Q3. Combien de critères ont été complètement traités ?**

- e) 0
- f) 1
- g) 4
- h) 10

**Q4. Lequel de ces classements est correct ? (A > B veut dire A est plus traité que B)**

- e) Expert > 1h > Débutant > 30 min
- f) 30min > Expert > 1h > Débutant
- g) Expert > 30min > 1h > Débutant
- h) 1h > Débutant > Expert > 30min

**Q5. Quel(s) critère(s) sont sélectionnés ?**

- e) 1 personne et 2 personnes et 3-6 personnes
- f) 30 min
- g) Auditif
- h) Tous les critères

**Q6. Combien y a-t-il de critères sélectionnés ?**

- e) 2
- f) 6
- g) 16
- h) 18

**Q7. Pourquoi 1 heure et 2 heures sont de cette couleur ?**

- e) Ils n'ont pas du tout été traités
- f) Ils ont été entièrement traités
- g) Ils ne peuvent pas être sélectionnés actuellement
- h) L'interface a planté

**Q8. Quelle combinaison de critères a déjà été traitée ?**

- e) Apprendre – 3-6 ans
- f) Apprendre – 30min
- g) Apprendre – 1 heure
- h) Aucun d'entre eux

**Q9. Le profil 2p – 7-12ans – 1 heure – Cognitif – Jouer – Expert est :**

- e) Entièrement traité
- f) Partiellement traité
- g) Pas du tout traité
- h) On ne peut pas savoir

## Questionnaire de manipulation

### Version A

- Q1.** Créer un parcours pour les enfants de moins de 6 ans (quel que soit le nombre de personnes)
- Q2.** Déclarer le profil 3-6 ans / 2 heures comme étant impossible (quel que soit le nombre de personnes)
- Q3.** Déclarer le profil 3-6 ans / Expert comme étant impossible (quel que soit le nombre de personnes)
  
- Q4.** Créer un parcours pour un visiteur seul
- Q5.** Créer un parcours pour un visiteur adulte seul
- Q6.** Créer un parcours pour un visiteur adulte seul qui dispose d'1 heure
  
- Q7.** Créer un parcours pour les visiteurs avec handicap cognitif qui veulent jouer (quel que soit le nombre de personnes)
- Q8.** Créer un parcours pour les groupes d'au moins 3 personnes dont des débutants
- Q9.** Créer un parcours pour les visiteurs avec handicap auditif qui disposent de 30 minutes (quel que soit le nombre de personnes)
  
- Q10.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
2p – 7-12 ans – 30 min – Aucun handicap – Apprendre – Débutant
  
- Q11.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
2p – 7-12 ans – 30 min – Aucun handicap – Jouer – Débutant
  
- Q12.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
2p – 7-12 ans – 30 min – Aucun handicap – Expérimenter – Débutant

Questionnaire de manipulation

Version A - Fiche réponse

Code participant :

Groupe :

Positionner les figurines sur leur emplacement de base

Lancer le serveur

Lancer le client

**Q1.** Créer un parcours pour les enfants de moins de 6 ans quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q2.** Déclarer le profil 3-6 ans / 2 heures comme étant impossible quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

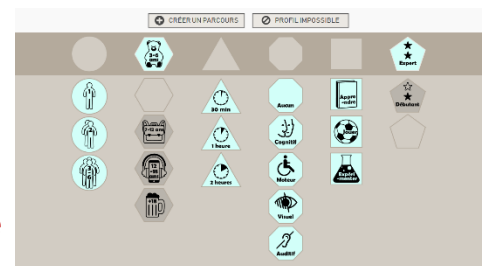
Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q3.** Déclarer le profil 3-6 ans / Expert comme étant impossible quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q4.** Créer un parcours pour un visiteur seul

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_





**Q5.** Créer un parcours pour un visiteur adulte seul

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q6.** Créer un parcours pour un visiteur adulte seul qui dispose d'1 heure

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q7.** Créer un parcours pour les visiteurs avec handicap cognitif qui veulent jouer quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q8.** Créer un parcours pour les groupes d'au moins 3 personnes dont des débutants

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q9.** Créer un parcours pour les visiteurs avec handicap auditif qui disposent de 30 minutes quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_

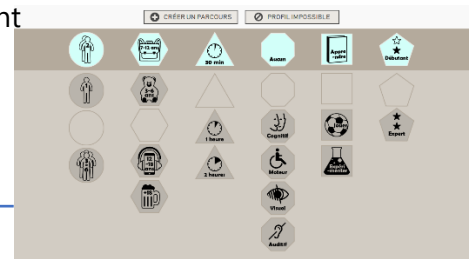


Code participant :
Groupe :

**Q10.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
2p – 7-12 ans – 30 min – Aucun handicap – Apprendre – Débutant

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q11.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
2p – 7-12 ans – 30 min – Aucun handicap – Jouer – Débutant

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q12.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
2p – 7-12 ans – 30 min – Aucun handicap – Expérimenter – Débutant

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



Fermer le serveur  
Repositionner toutes les figurines à leur place

## Questionnaire de manipulation

### Version B

- Q1.** Créer un parcours pour les visiteurs avec un handicap cognitif (quel que soit le nombre de personnes)
- Q2.** Déclarer le profil Handicap cognitif / 2 heures comme étant impossible (quel que soit le nombre de personnes)
- Q3.** Déclarer le profil Handicap cognitif / Expert comme étant impossible (quel que soit le nombre de personnes)
  
- Q4.** Créer un parcours pour 2 personnes
- Q5.** Créer un parcours pour 2 personnes qui disposent de 2 heures
- Q6.** Créer un parcours pour 2 adolescents de 15 ans qui disposent de 2 heures
  
- Q7.** Créer un parcours pour les enfants de 7 à 12 ans qui disposent d'1 heure (quel que soit le nombre de personnes)
- Q8.** Créer un parcours pour les visiteurs seuls et experts
- Q9.** Créer un parcours pour les visiteurs avec handicap auditif qui veulent apprendre (quel que soit le nombre de personnes)
  
- Q10.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
3-6 pers – 12-18 ans – 30 min – Aucun handicap – Apprendre – Débutant
  
- Q11.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
3-6 pers – 12-18 ans – 1 heure – Aucun handicap – Apprendre – Débutant
  
- Q12.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
3-6 pers – 12-18 ans – 2 heures – Aucun handicap – Apprendre - Débutant

Questionnaire de manipulation

Version B - **Fiche réponse**

Code participant :
Groupe :

Positionner les figurines sur leur emplacement de base

Lancer le serveur

Lancer le client

**Q1.** Créer un parcours pour les visiteurs avec un handicap cognitif quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre

Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q2.** Déclarer le profil Handicap cognitif / 2 heures comme étant impossible quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre

Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q3.** Déclarer le profil Handicap cognitif / Expert comme étant impossible quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre

Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q4.** Créer un parcours pour 2 personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre

Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q5.** Créer un parcours pour 2 personnes qui disposent de 2 heures

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q6.** Créer un parcours pour 2 adolescents de 15 ans qui disposent de 2 heures

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q7.** Créer un parcours pour les enfants de 7 à 12 ans qui disposent d'1 heure quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q8.** Créer un parcours pour les visiteurs seuls et experts

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q9.** Créer un parcours pour les visiteurs avec handicap auditif qui veulent apprendre quel que soit le nombre de personnes

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



Code participant :  
Groupe :

**Q10.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
3-6 pers – 12-18 ans – 30 min – Aucun handicap  
– Apprendre - Débutant

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q11.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
3-6 pers – 12-18 ans – 1 heure – Aucun handicap  
– Apprendre - Débutant

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

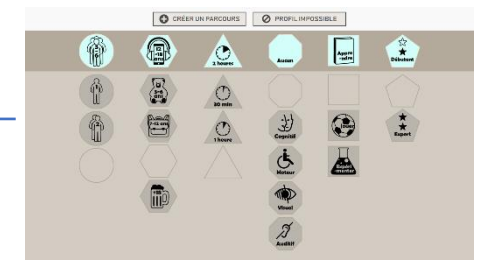
Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



**Q12.** Créer un parcours pour le profil suivant :  
3-6 pers – 12-18 ans – 2 heures – Aucun handicap – Apprendre - Débutant

Attendre le signal de début de l'utilisateur → Démarrer le chronomètre  
Attendre le signal de fin de l'utilisateur → Arrêter le chronomètre

Résultat : CORRECT / INCORRECT      Temps en secondes : \_\_\_\_\_



Fermer le serveur  
Repositionner toutes les figurines à leur place

## Protocole expérimental – Manipulation libre

Code participant :

Device :

Vous allez maintenant pouvoir manipuler librement le prototype.

Vous avez choisi en amont deux thématiques, votre objectif est de traiter un maximum de profils en créant un maximum de parcours adaptés pour la première/deuxième thématique.

Vous pouvez sélectionner les critères comme vous l'avez fait précédemment, puis vous pouvez raconter un parcours dans le micro pour ce profil (au lieu de le créer sur l'autre interface) puis appuyer sur « créer le parcours ». Vous pouvez également raffiner les parcours en ajoutant des critères, dire dans le micro ce qui changerait et appuyer sur « créer le parcours ». Vous pouvez également donner des consignes dans le micro telles que « faire le même parcours que tel profil » et appuyer sur créer le parcours. Vous pouvez également déclarer des profils impossibles. Le but est que sur le temps court de l'expérimentation vous vous projetiez dans l'utilisation que vous pourriez avoir du prototype.

Est-ce que vous avez des questions ?

Vous avez 10 minutes pour manipuler le prototype comme vous le souhaitez.

Code participant :

Device :

## Merci de nous donner votre avis

Afin d'évaluer le produit, pouvez-vous s'il vous plaît remplir le questionnaire ci-dessous. Il se compose de paires opposées de propriétés potentielles du produit. Les gradations entre les propriétés contraires sont représentées par des cercles. En cochant l'un de ces cercles, vous pouvez exprimer à quel point vous approuvez un concept.

### Exemple :

Attractif	■ ⊗ ■ ■ ■ ■ ■ ■	Rébarbatif
-----------	-----------------	------------

Cette réponse montre que vous jugez le produit plus attractif que rébarbatif.

Répondez le plus spontanément possible.

S'il vous plaît vérifiez toujours une réponse. Même si vous n'êtes pas sûr de l'évaluation.

Il n'y a pas de «bonne» ou de «mauvaise» réponse; seul votre avis compte !



Dites-nous maintenant ce que vous pensez de notre produit (une seule réponse possible par qualité/défaut).

	1	2	3	4	5	6	7		
Agacant	■	■	■	■	■	■	■	Réjouissant	1
Incompréhensible	■	■	■	■	■	■	■	Compréhensible	2
Créatif	■	■	■	■	■	■	■	Monotone	3
D'utilisation facile	■	■	■	■	■	■	■	D'utilisation difficile	4
Précieux	■	■	■	■	■	■	■	Médiocre	5
Ennuyeux	■	■	■	■	■	■	■	Captivant	6
Inintéressant	■	■	■	■	■	■	■	Intéressant	7
Imprévisible	■	■	■	■	■	■	■	Prévisible	8
Rapide	■	■	■	■	■	■	■	Lent	9
Original	■	■	■	■	■	■	■	Conventionnel	10
Handicapant	■	■	■	■	■	■	■	Aidant	11
Bien	■	■	■	■	■	■	■	Mauvais	12
Complicé	■	■	■	■	■	■	■	Simple	13
Repoussant	■	■	■	■	■	■	■	Attirant	14
Commun	■	■	■	■	■	■	■	Inédit	15
Désagréable	■	■	■	■	■	■	■	Agréable	16
Prédictible	■	■	■	■	■	■	■	Imprévisible	17
Stimulant	■	■	■	■	■	■	■	Soporifique	18
Répond aux attentes	■	■	■	■	■	■	■	Ne répond pas aux attentes	19
Inefficace	■	■	■	■	■	■	■	Efficace	20
Clair	■	■	■	■	■	■	■	Confus	21
Non pragmatique	■	■	■	■	■	■	■	Pragmatique	22
Sobre	■	■	■	■	■	■	■	Surchargé	23
Attrayant	■	■	■	■	■	■	■	Rébarbatif	24
Sympathique	■	■	■	■	■	■	■	Antipathique	25
Conservateur	■	■	■	■	■	■	■	Innovant	26

## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

### *Objectifs du projet et procédure*

Cette expérimentation, d'une durée d'une heure et demie, vise à évaluer deux prototypes de choix des profils visiteurs pour lesquels créer des parcours de visite personnalisés. Cette interview s'inscrit dans le cadre d'une convention de recherche entre le LaBRI (Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique) et l'entreprise Berger Levrault (thèse CIFRE) attribuée à Melle. Stéphanie REY et intitulée : « Outil de gestion pour la création de parcours de visites personnalisées dans le contexte des musées : conception et évaluation ». Dans le cadre de cette expérimentation, vous serez amené à manipuler les deux prototypes et à répondre à une série de questions sur leur utilisation. Nous vous poserons également des questions sur vos préférences et votre satisfaction. Nous n'évaluerons en aucun cas votre performance, votre expérience ou vos méthodes de travail.

### *Anonymat et confidentialité*

Lors de cette interview, Stéphanie Rey récupèrera vos actions et vos retours dans des fichiers anonymisés. Les logs de vos manipulations sur les prototypes seront également enregistrés. Un enregistrement vidéo de l'expérimentation pourra également être réalisé, uniquement avec votre accord préalable. L'étude à laquelle vous participez servira uniquement à recueillir des informations essentielles à la collaboration scientifique et ne pourra en aucun cas servir à d'autres fins. Les données pourront être diffusées dans le cadre de publications scientifiques (revues, conférences) sous forme anonymisée. Toutes les données recueillies sont stockées de manière totalement anonyme et confidentielle. Les enregistrements effectués durant l'étude seront exclusivement exploités par notre équipe et seront détruits définitivement à la fin de la thèse.

- J'autorise l'enregistrement vidéo de l'étude.
- Je refuse l'enregistrement vidéo de l'étude.

### *Risques potentiels*

La participation à cette étude n'implique aucun risque connu.

### *Liberté de retrait*

Votre participation à cette étude est volontaire. Vous êtes libre de vous retirer de cette étude à tout moment, et ce, sans aucune justification. Dans ce cas, l'ensemble des données collectées seront immédiatement et définitivement détruites.

### *Données personnelles*

Conformément à la loi Informatique et libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des informations vous concernant. Vous pouvez accéder à ces informations en vous adressant à Berger-Levrault, Direction Juridique, 64 rue Jean Rostand, 31670 LABEGE ou à [courrier@berger-levrault.fr](mailto:courrier@berger-levrault.fr). (Récépissé de déclaration CNIL n°1951216).

Je déclare avoir pris connaissance de ce formulaire de consentement et avoir compris les conditions de ma participation à cette interview. J'ai eu l'occasion de poser des questions et j'ai obtenu toutes les réponses souhaitées, le cas échéant.

Fait à \_\_\_\_\_, le \_\_\_\_\_ en 2 exemplaires.

Nom en toutes lettres : \_\_\_\_\_

Signature (du participant)

Signature (du responsable de l'interview)

Pour toute question au sujet de cette étude, merci de contacter Melle. Stéphanie REY à l'adresse suivante : [stephanie.rey@berger-levrault.fr](mailto:stephanie.rey@berger-levrault.fr)

Stéphanie Rey, doctorante

Berger-Levrault, LaBRI

stephanie.rey AT berger-levrault.com

Nom participant :

Code :

### **Autorisation de droit à l'image**

En tant que chercheurs d'un institut public de recherche, nos recherches contribuent à améliorer les connaissances sur les technologies de personnalisation de parcours pour les musées. Nous publions nos recherches dans des journaux ou conférences afin de rendre nos résultats accessibles à tout le monde. Nous sommes également amenés à présenter nos résultats lors de conférences et congrès ou dans des universités à d'autres chercheurs. Parfois ces publications écrites et présentations données oralement contiennent des photos et vidéos faites lors des expériences avec les participants. Ceci est important afin d'illustrer notre travail. Nous nous engageons à sélectionner des photos qui ne portent pas atteinte à la réputation des personnes, et nous pensons rendre les images anonymes en floutant les visages.

Je soussigné(e) .....

autorise Stéphanie Rey, la responsable du projet, à utiliser, diffuser et reproduire, en tout ou partie, mon image et ma voix :

- pour toute communication et/ou publication, interne et/ou externe, privée et/ou publique, à des fins d'enseignement et de recherche, de communication ou scientifique ;
- sur tout type de support de présentation (par exemple : audiovisuel, électronique/internet, numérique, papier, revues, etc.) ;
- modifier les prises de vues et sons réalisées nonobstant le fait que celles-ci ne devront pas porter atteinte à ma réputation ou à ma vie privée. Notamment, je permets aux chercheurs de flouter les visages.

L'expression « mon image » a ici vocation à désigner la représentation physique de ma personne, filmée et/ou photographiée lors du projet de thèse de Stéphanie Rey auquel j'ai volontairement participé, et « ma voix » tout enregistrement audio.

Cette autorisation est accordée gracieusement, pour une durée de 10 ans, à compter du 1<sup>er</sup> Aout 2019, et quel que soit le nombre de représentations et de reproductions.

Je déclare avoir pris connaissance dans le fond comme dans la forme de l'utilisation qui sera faite de mon image et ma voix.

Je reconnais avoir été informé(e) conformément à la loi Informatique et Libertés n°78-17 du 6 janvier 1978 que je dispose d'un droit d'accès et de rectification des données nominatives communiquées à la société Berger-Levrault.

Lieu,.....

Date .....

Signature du participant

### 8.4. Annexe 3B : Résultats Expérimentation (Chapitre 3)

#### Questions démographiques

ID	Age	Genre	Niveau d'étude	Poste	Années expériences	Années ce musée	Fréquence création visite	Gaucher/Dro	Daltonien	Pb mobilité	Techno utilisées	A l'aise tactile	Fréquence techno
A1	42	Femme	Master ou équivalent Bac+5	médiatrice culturelle	13	10	1x par mois	Droitier	Non	Non	Ordi, Téléphone tactile, Tablette	5	Tous les jours
R1	51	Femme	DUT ou équivalent Bac+2	Chargée des publics et de la communication	19	27	1x par an	Gaucher	Non	Non	Ordi, Téléphone tactile, Tablette	5	Tous les jours
R2	34	Homme	Doctorat ou équivalent Bac+8	Médiateur culturel	6	7	1x par an	Droitier	Non	Non	Ordi, Téléphone tactile, Tablette, Autre	5	Tous les jours
R3	32	Femme	Doctorat ou équivalent Bac+8	Assistante de conservation et médiatrice culturelle	1	1	1x par mois	Droitier	Non	Non	Ordi, Téléphone tactile	5	Tous les jours
A2	46	Femme	Master ou équivalent Bac+5	médiatrice culturelle	5	5	1x par mois	Droitier	Non	Non	Ordi, Téléphone tactile	4	Tous les jours
H1	27	Femme	Master ou équivalent Bac+5	médiatrice culturelle	3	1	1x par mois	Droitier	Non	Non	Ordi, Téléphone tactile	4	Tous les jours
V3	33	Femme	DUT ou équivalent Bac+2	Référente de médiation culturelle	3	3	Moins souvent	Gaucher	Non	Non	Ordi, Téléphone tactile, Tablette	4	Tous les jours
V1	46	Femme	Master ou équivalent Bac+5	Responsable médiation culturelle	20	4	1x par an	Droitier	Non	Oui	Ordi, Téléphone tactile, Téléphone boutons, Tablette	5	Tous les jours

#### Questionnaire d'observation

Code participant	A/B	Premier questionnaire	GUI/TUI	Première interface (GUI/TUI)	Groupe (calculé)	# a / b / c / d									# a / b / c / d								
						Questionnaire A									Questionnaire B								
						Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
A1	A	A	GUI	GUI	GA	c	b	c	d	a	a	d	a	c	d	c	c	b	b	a	c	b	b
R1	A	A	TUI	TUI	TA	c	a	a	d	a	a	c	a	c	d	c	c	b	b	a	c	b	a
R2	B	B	GUI	GUI	GB	c	b	c	a	a	a	d	a	c	d	c	c	b	b	a	c	b	a
R3	B	B	TUI	TUI	TB	c	b	c	d	a	a	d	a	c	d	c	c	b	b	a	d	b	a
A2	A	A	GUI	GUI	GA	c	b	c	d	a	a	d	a	c	d	c	c	b	b	a	c	b	b
H1	A	A	TUI	TUI	TA	c	b	c	d	a	a	d	a	c	d	c	c	b	b	a	c	b	a
V3	B	B	GUI	GUI	GB	c	b	c	d	a	a	d	a	c	d	c	c	b	b	a	c	b	b
V1	B	B	TUI	TUI	TB	c	b	c	d	a	a	d	a	c	d	c	c	c	b	a	c	b	a
Correct version						c	b	c	d	a	a	d	a	c	d	c	c	b	b	a	c	b	a

Résultats par dispositif

Participant	Group	GUI									TUI										
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9		
A1	GA	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX		
R1	TA	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI		
R2	GB	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI		
R3	TB	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI		
A2	GA	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX		
H1	TA	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI		
V3	GB	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI		
V1	TB	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	FAUX	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI		
Nb mistakes		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	2	0	0	2	0	2		
% mistakes		0	0	0	0	0	0	0	0	0,125	0	0,125	0,125	0,25	0	0	0,25	0	0,25		
										Total nb mistakes									Total nb mistakes		8
										Total % missed									Total % missed		11%
										Total 2 devices											9
										Total % missed											6%

Questionnaire de manipulation dirigée

Temps

Code participant	A/B	1er questionnaire	1er device	Groupe (calculé)	Time (seconds)																									
					GUI												TUI													
					Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12		
A1	A	GUI	GA		3,23	3,65	5,15	4,58	3,5	2,38	8,83	5,66	7,03	13,26	2,95	3,6	2,61	3,38	6,03	6,88	5,8	4,1	11,91	9,42	10,67	19,34	7,88	5,81		
R1	A	TUI	TA		7,13	3,42	6,72	7,58	1,66	4,81	7,88	7,63	5,65	10,95	12,39	2,08	5,83	9,08	8,9	20,67	2,28	2	10,52	23,26	9,1	22,7	6,8	3,97		
R2	B	GUI	GB		8,15	4,65	4,39	8,15	3,81	3,16	12,38	3,65	3,65	10,31	2,63	2,85	13,21	6,28	9,02	8,57	4,15	3,55	14,6	6,53	4,71	17,91	5,17	4,76		
R3	B	TUI	TB		1,74	2,88	4,55	6,5	3,01	2,33	8,13	4,69	7,97	13,24	3,06	5,07	3,31	4,63	7,96	7,9	3,36	3,97	13,53	10,38	9,54	20,38	4,76	5,51		
A2	A	GUI	GA		18,64	17,61	2,88	16	15,63	10,93	22,31	14,48	10,62	19,31	5,45	3,75	7,33	4,58	7,48	10,56	3,73	5,83	8,95	13,05	7,89	23,31	7,25	6,35		
H1	A	TUI	TA		2,53	5,56	3,66	4,28	1,98	2,13	5,38	4,31	6,93	10,48	3,61	2,29	3,31	4,68	5,42	6,29	3,63	3,08	9,65	8,54	8,48	12,99	6,27	7,07		
V3	B	GUI	GB		3,61	4,54	5,36	6,15	3,06	2,94	6,93	6,11	7,3	12,94	19,84	4,08	4,37	3,5	6,73	7,49	6,01	4,01	12,38	8,98	11,48	15,96	5,31	4,87		
V1	B	TUI	TB		2,51	3,02	3,8	5,46	3,41	3,02	6,57	6,28	6,8	15,11	3,03	3,05	4,47	4,53	7,1	6,62	4,57	3,5	6,31	7,77	5,75	9,93	3,71	3,48		
				M	5,9425	5,6663	4,5638	7,3375	4,5075	3,9625	9,8013	6,6013	6,9938	13,2	6,62	3,3463	5,555	5,0825	7,33	9,3725	4,1913	3,755	10,981	10,991	8,4525	17,815	5,8938	5,2275		
				SD	5,6239	4,9112	1,1888	3,7483	4,5552	2,9367	5,4613	3,4221	1,9722	2,9729	6,25	0,9849	3,4467	1,8416	1,2813	4,7613	1,2486	1,0809	2,6817	5,3176	2,3087	4,6578	1,3973	1,1985		
				M total GUI	6,5452												M total TUI												7,8873	
				SD total GUI	4,61												SD total TUI												4,7715	

Erreurs avec précisions

		btn : oubli bouton add : ajout critères				figF : mauvaise figurine figO : oubli figurine				btnF : mauvais btn let : laisse critères				déjà fait : les ajouts précédents ont déjà rempli la tâche oublif : oubli une figurine												
Groupe (calculé)	Errors																									
	GUI												TUI													
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12		
GA	btn	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	btn	btnF	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c		
TA	add1   btn	let	let	btn	btn	btn	add1   btn	let   btn	let   btn	btn	btn	btn	add1   btn	c	c	add2   btn	déjà fait	déjà fait	add3   btn   figF	add3   btn	let   btn	btn	btn	btn		
GB	add5   btn	let	let   btn	add	let	let	add	let	add	c	c	c	add	c	c	add1	c	c	add   figF	c	let	c	c	c		
TB	btn	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	btn	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c		
GA	add	add	add	add	add	add	add	add	let1	c	c	c	btn	btnF	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c		
TA	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	btn	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c		
GB	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	figF	let	let	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c		
TB	c	c	c	c	c	c	c	c	c	oublif	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c		
	Nb mistakes	4	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	5	2	0	1	0	0	2	1	1	1	1	1	
	% mistakes	50	0	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	25	25	13	12,5	62,5	25	0	12,5	0	0	25	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	
	Nb mistakes GUI	16 (sans les add)												Nb mistakes TUI												15
	% mistakes GUI	16,666667												% mistakes TUI												15,625

Temps corrigé selon les erreurs

Groupe (calculé)	Time (seconds)																									
	GUI												TUI													
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12		
GA	3,23	3,65	5,15	4,58	3,5	2,38	8,83	5,66	7,03	13,26	2,95	3,6	2,61	3,38	6,03	6,88	5,8	4,1	11,91	9,42	10,67	19,34	7,88	5,81		
TA																										
GB																										
TB	1,74	2,88	4,55	6,5	3,01	2,33	8,13	4,69	7,97	13,24	3,06	5,07	3,31	4,63	7,96	7,9	3,36	3,97	13,53	10,38	9,54	20,38	4,76	5,51		
GA																										
TA	2,53	5,56	3,66	4,28	1,98	2,13	5,38	4,31	6,93	10,48	3,61	2,29	3,31	4,68	5,42	6,29	3,63	3,08	9,65	8,54	8,48	12,99	6,27	7,07		
GB	3,61	4,54	5,36	6,15	3,06	2,94	6,93	6,11	7,3	12,94	19,84	4,08	4,37	3,5	6,73	7,49	6,01	4,01	12,38	8,98	11,48	15,96	5,31	4,87		
TB	2,51	3,02	3,8	5,46	3,41	3,02	6,57	6,28	6,8	15,11	3,03	3,05	4,47	4,53	7,1	6,62	4,57	3,5	6,31	7,77	5,75	9,93	3,71	3,48		
	M	2,724	3,93	4,504	5,394	2,992	2,56	7,168	5,41	7,206	13,006	6,498	3,618	3,614	4,144	6,648	7,036	4,674	3,732	10,756	9,018	9,184	15,72	5,586	5,348	
	SD	0,7233	1,1223	0,7681	0,9621	0,6045	0,3957	1,3508	0,8715	0,4649	1,6531	7,463	1,0498	0,7901	0,6463	0,9775	0,6532	1,2124	0,4325	2,8572	0,9752	2,2302	4,3547	1,5818	1,3156	
	M total GUI	5,4175												M total TUI												7,1217
	SD total GUI	3,5118												SD total TUI												3,8231

## 8.5. Annexe 4A : Questionnaires semi-directifs (Chapitre 4)

### INTERVIEW SEMI-OUVERTE

**Accroche** : *[Bonjour, nous cherchons à développer un nouvel outil pour les visiteurs du musée, êtes-vous intéressés pour répondre à notre enquête ?]*

#### **Texte d'intro :**

*[Bonjour Madame/Monsieur/Mesdames/Messieurs, nous sommes un groupe d'étudiant en Master 2 à l'Université Paul Sabatier et nous travaillons actuellement sur un projet en collaboration avec le musée St Raymond. Nous souhaitons capter les besoins et envies des visiteurs sur le choix d'un parcours à suivre dans le musée. Êtes-vous intéressé pour répondre à nos questions ?]*

**1. [Pour commencer] Quel est le nombre de personnes, l'âge des membres, le temps prévu et le temps passé par votre groupe ?**

**2. Êtes-vous de Toulouse ou vous venez de plus loin ?**

**3. Quelles étaient vos attentes en arrivant au musée ?** *[Recherchez-vous quelque chose en particulier ? Tout voir ?]*

**3.1. Si "Printemps de Septembre", Avez-vous déjà visité le musée ?** *[Faire se souvenir de la dernière fois]*

**3.1.1. Si Oui, Quelles étaient vos attentes en arrivant au le musée ?**

**3.1.2. Si Non, Pourquoi, qu'est-ce qui vous inciterait à venir ?**

**4. Est-ce que votre visite correspondait à vos attentes ?**

**5. Après avoir pris vos billets, comment avez-vous pensé votre parcours ?** *[Chemin suivi, libre, thématique]*

*[Le musée souhaite créer une série de parcours personnalisés et nous étudions les différents moyens pour vous de choisir ce parcours] :*

**6. Préférez-vous qu'on vous propose des parcours ou que vous choisissiez de vous-même quel parcours suivre dans le musée ?**

**7. Si on vous en proposait, entre combien de parcours souhaiteriez-vous avoir le choix ?**

**8. Qu'est-ce qu'une visite personnalisée selon vous ? Selon quels critères ?** *[Donner plein d'idées non triviales pour stimuler]*

**9. Combien de temps auriez-vous envie de consacrer au choix de parcours ?**

Merci de vos réponses, si vous voulez continuer à nous aider dans notre démarche de dynamisation des musées vous pouvez nous laissez votre mail pour répondre à un autre questionnaire.

## 8.6. Annexe 4B : Questionnaires Internet (Chapitre 4)

Start of Block: Intro

T1 Description du projet :

---

T2 Nous sommes un groupe d'étudiants en informatique et travaillons avec le musée Saint-Raymond pour améliorer votre expérience de visite. La première étape de notre démarche est de savoir quels sont vos besoins et attentes. C'est dans ce cadre que nous allons vous poser quelques questions. Cela devrait vous prendre environ 10 minutes.

End of Block: Intro

---

Start of Block: Info

T3 Information général

---

Q1 Où habitez-vous ?

- Toulouse et aux alentours (1)
  - Hors de Toulouse mais à portée du musée en voiture (2)
  - En France hors (1) et (2) (3)
  - En dehors de France (4)
- 

Q2 Êtes-vous déjà allé au musée Saint-Raymond ?

- J'ai déjà visité le musée Saint-Raymond (4)
- Je n'ai jamais visité le musée (1)

*Skip To: End of Block If Q2 = 1*

---

Q3 Quelles motivations vous ont amené à visiter ce musée ?

---

Q4 Combien de fois avez-vous déjà visité ce musée ?

▼ 1 (1) ... 5+ (5)

---

*Display This Question: If Q4 = 2, Or Q4 = 3 Or Q4 = 4 Or Q4 = 5*

Q5 Qu'est-ce qui vous a motivé à revenir au musée ?

---

Q6 Combien étiez-vous lors de votre dernière visite ?

▼ 1 personne (1) ... Je ne m'en souviens pas (8)

---

*Skip To: Q8 If Q6 = 8*

---



Q7 Quels âges avaient les membres du groupe ?

	0	7	13	20	27	33	40	47	53	60	67	73	80	87	93	100
Personne 1 (4)																
Personne 2 (5)																
Personne 3 (6)																
Personne 4 (7)																
Personne 5+ (8)																

Q8 Quel est votre niveau de connaissance en archéologie/antiquité ?

	Débutant						Expert
	1	2	3	4	5	6	7
0							

End of Block: Info

Start of Block: Temporel

T4 Informations temporelles :

Q9 Combien de temps environ avez-vous passé dans le musée ?

- Moins de 30 min (1)
- Entre 30min et 1h30 (2)
- Entre 1h30 et 3h (3)
- Plus de 3h (4)
- Je ne m'en souviens pas (5)

Q10 Aviez-vous prévu une limite de temps pour la visite ?

- Oui (1)
- Non (2)

Skip To: End of Block If Q10 = 2

Q11 Combien de temps aviez-vous prévu ?

- Moins de 30 min (1)
- Entre 30min et 1h30 (2)
- Entre 1h30 et 3h (3)

Plus de 3h (4)

Q12 Est-ce que le temps passé correspondait au temps prévu ? si non, à votre avis pourquoi ?

End of Block: Temporel

Start of Block: Besoins

T5 Vos besoins et attentes : Un système de choix de parcours est un outil qui permet la sélection (automatisée ou non) d'un parcours préalablement défini parmi une liste de parcours construits par les médiateurs. Un parcours est un chemin à suivre dans le musée au cours duquel le visiteur rencontre une série d'œuvres liées les unes avec les autres par une thématique.

Q13 Seriez-vous intéressé pour suivre un parcours personnalisé



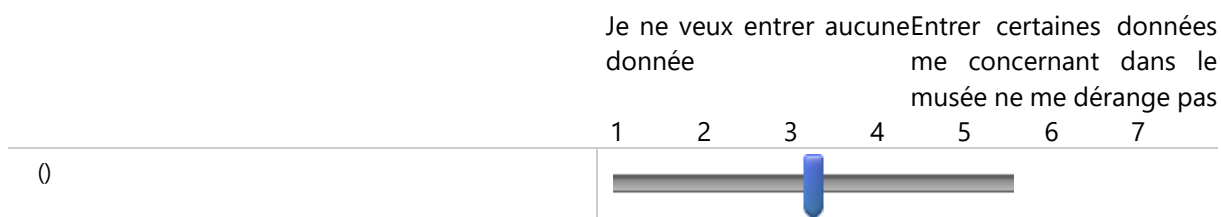
Q14 Pour vous un parcours personnalisé s'adapterait en fonction de... :  
Données personnelles

- Le temps disponible dont je dispose (1)
- La langue (anglaise, espagnole) (2)
- La situation de handicap (3)
- L'âge (4)
- Le nombre de personnes (5)
- L'intérêt pour l'histoire et l'art (6)

Q15 Données du musée

- Le thème (1)
- Le type d'oeuvre (2)
- L'aspect ludique (tablettes, maquettes et objets manipulables) (3)
- La période historique (4)
- L'étage (5)
- Les nouveautés (6)
- Autre (7)

Q16 Afin que le parcours soit le plus personnalisé possible seriez-vous d'accord pour communiquer des informations vous concernant. (Sachant que ces informations ne seront pas conservées ni utilisées sauf à des fins statistiques anonymes propre au musée)



Q17 Si un tel parcours existait, est-ce que vous auriez envie de le suivre ?

- Je ne l'utiliserais pas, j'aime me promener en toute liberté (1)
- Je l'utiliserais (2)

*Display This Question: If Q17 = 2*

Q18 Combien de temps seriez-vous prêt à passer pour configurer votre parcours ?

- Moins d'une minute (1)
- De 1 à 5 minutes (2)
- Plus de 5 minutes (3)

*Display This Question: If Q17 = 2*

Q19 Au moment de choisir le parcours vous préféreriez avoir

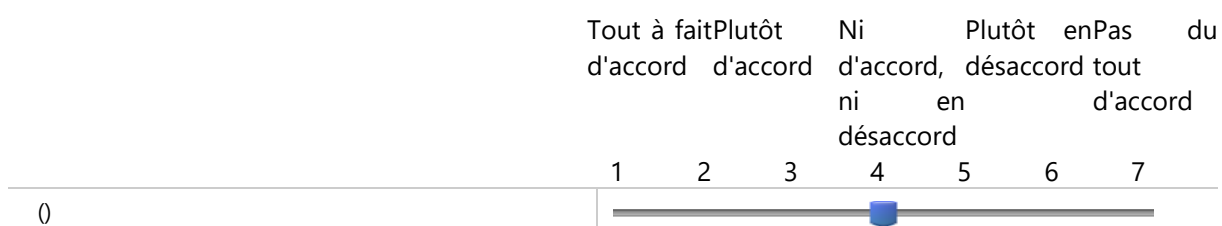
- Un seul choix (1)
- Deux choix (2)
- Trois Choix (3)
- Choisir vous même parmi la liste complète des parcours (4)

*Display This Question: If Q17 = 2*

Q20 Si votre groupe a des envies différentes pour le parcours, est-ce que vous aimeriez que le système vous aide à trancher ?

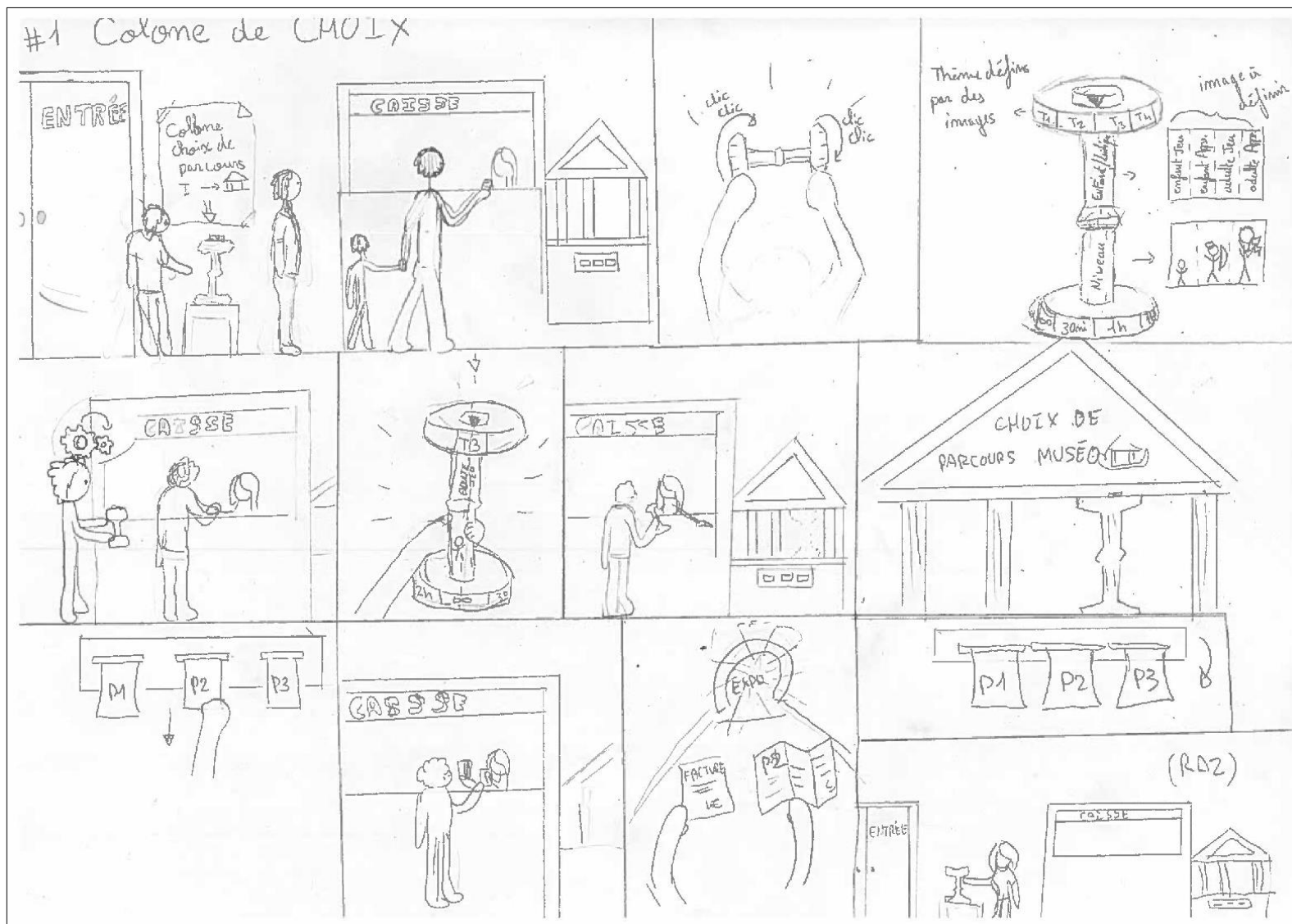
- Laisser l'outil départager le groupe en faisant un compromis (1)
- Laisser le groupe se décider (2)
- Je ne sais pas (4)

Q21 Est-ce que la proposition de parcours personnalisés vous motiverait à revenir au musée ?

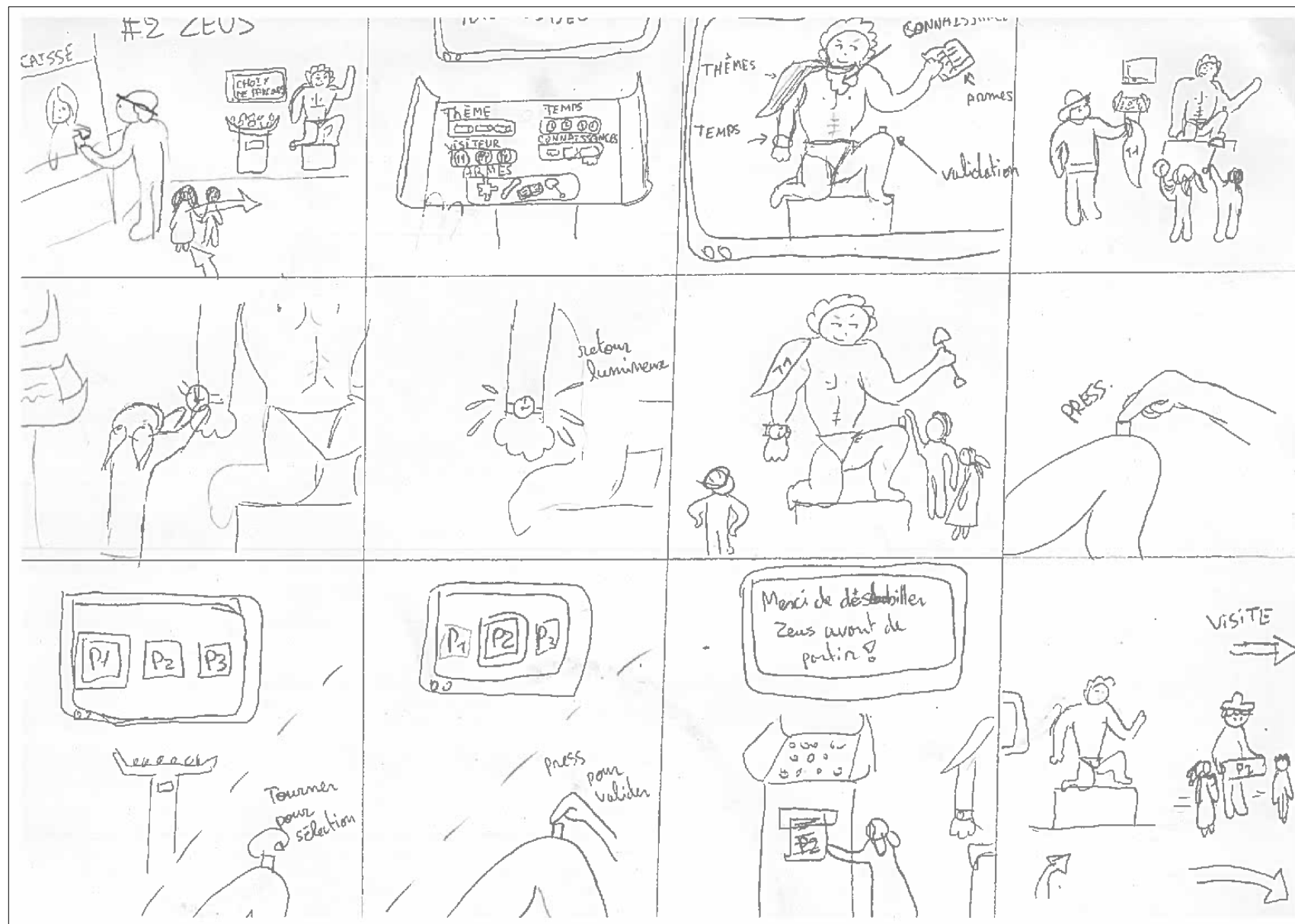


### 8.7. Annexe 4C : Storyboards Colonne et Hercule (Chapitre 4)

Storyboard solution Colonne (extrait de Fatmi et al., 2019)



Storyboard solution Hercules (extrait de Fatmi et al., 2019)



## 8.8. Annexe 5A : Revue Systématique de Littérature *token+constraint* (Chapitre 5)

Articles inclus dans la SLR citant Ullmer et al. (2005) : en anglais ou en français, comportant un prototype tangible, et publiés dans une conférence ou une revue avec comité de relecture (un seul article présenté ici par ensemble de duplications). T+C indique si le prototype tangible implémente au moins une contrainte physique.

ID	Référence	T+C ?
4	Follmer, Sean, et al. "inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation." <i>Uist</i> . Vol. 13. 2013.	1
7	Patten, James, and Hiroshi Ishii. "Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces." <i>Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems</i> . ACM, 2007.	0
8	Fernaesus, Ylva, and Jakob Tholander. "Finding design qualities in a tangible programming space." <i>Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems</i> . ACM, 2006.	0
11	Wakkary, Ron, and Marek Hatala. "Situated play in a tangible interface and adaptive audio museum guide." <i>Personal and Ubiquitous Computing</i> 11.3 (2007): 171-191.	0
15	Schietecatte, Bert, and Jean Vanderdonckt. "AudioCubes: a distributed cube tangible interface based on interaction range for sound design." <i>Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction</i> . ACM, 2008.	0
17	Le Goc, Mathieu, et al. "Zooids: Building blocks for swarm user interfaces." <i>Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology</i> . ACM, 2016.	0
19	Zigelbaum, Jamie, et al. "The tangible video editor: collaborative video editing with active tokens." <i>Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction</i> . ACM, 2007.	1
24	Valdes, Consuelo, et al. "Exploring the design space of gestural interaction with active tokens through user-defined gestures." <i>Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2014.	0
25	Sapounidis, Theodosios, Stavros Demetriadis, and Ioannis Stamelos. "Evaluating children performance with graphical and tangible robot programming tools." <i>Personal and Ubiquitous Computing</i> 19.1 (2015): 225-237.	1
27	Liang, Rong-Hao, et al. "GaussBits: magnetic tangible bits for portable and occlusion-free near-surface interactions." <i>Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2013.	0
28	Paelke, Volker, and Monika Sester. "Augmented paper maps: Exploring the design space of a mixed reality system." <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i> 65.3 (2010): 256-265.	0
34	Scarlato, Lori L. "Tangible math." <i>Interactive Technology and Smart Education</i> 3.4 (2006): 293-309.	1
35	Marco, Javier, Eva Cerezo, and Sandra Baldassarri. "ToyVision: a toolkit for prototyping tabletop tangible games." <i>Proceedings of the 4th ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems</i> . ACM, 2012.	1
37	Detken, Karen, Carlos Martinez, and Andreas Schrader. "The search wall: tangible information searching for children in public libraries." <i>Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction</i> . ACM, 2009.	1
38	Döring, Tanja, Axel Sylvester, and Albrecht Schmidt. "Exploring material-centered design concepts for tangible interaction." <i>CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2012.	0
39	Bonnard, Quentin, et al. "Paper interfaces for learning geometry." <i>European Conference on Technology Enhanced Learning</i> . Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.	0
41	Schmidt, Dominik, et al. "Kickables: tangibles for feet." <i>Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2014.	1
42	Ullmer, Brygg, et al. "Cartouche: conventions for tangibles bridging diverse interactive systems." <i>Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction</i> . ACM, 2010.	1
44	Riedenklaue, Eckard, Thomas Hermann, and Helge Ritter. "An integrated multi-modal actuated tangible user interface for distributed collaborative planning." <i>Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible Embedded and Embodied Interaction</i> . ACM, 2012.	0

ID	Référence	T+C ?
45	Gurevich, Michael, Adnan Marquez-Borbon, and Paul Stapleton. "Playing with constraints: Stylistic variation with a simple electronic instrument." <i>Computer Music Journal</i> 36.1 (2012): 23-41.	0
47	Büschel, Wolfgang, et al. "T4-transparent and translucent tangibles on tabletops." <i>Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces</i> . ACM, 2014.	0
48	Schoessler, Philipp, et al. "Kinetic blocks: Actuated constructive assembly for interaction and display." <i>Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software &amp; Technology</i> . ACM, 2015.	0
54	Ullmer, Brygg, et al. "Casier: structures for composing tangibles and complementary interactors for use across diverse systems." <i>Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction</i> . ACM, 2011.	1
56	Bellucci, Andrea, et al. "Extreme Co-design: Prototyping with and by the User for Appropriation of Web-connected Tags." <i>International Symposium on End User Development</i> . Springer, Cham, 2015.	0
57	Dünser, Andreas, et al. "Evaluation of tangible user interfaces for desktop AR." <i>2010 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality</i> . IEEE, 2010.	0
58	Yeh, Ron B., et al. "Interactive gigapixel prints: Large, paper-based interfaces for visual context and collaboration." <i>Proc. Ubicomp</i> . Vol. 6. 2006.	0
59	Coutrix, Céline, and Laurence Nigay. "Balancing physical and digital properties in mixed objects." <i>Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces</i> . ACM, 2008.	0
60	Tobias, Eric, Valérie Maquil, and Thibaud Latour. "TULIP: a widget-based software framework for tangible tabletop interfaces." <i>Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems</i> . ACM, 2015.	1
61	Boussemart, Baptiste, and Sylvain Giroux. "Tangible user interfaces for cognitive assistance." <i>21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)</i> . Vol. 2. IEEE, 2007.	0
62	Le Goc, Mathieu, et al. "Smarttokens: Embedding motion and grip sensing in small tangible objects." <i>Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software &amp; Technology</i> . ACM, 2015.	0
66	Jensen, Mads Vedel, and Marcelle Stienstra. "Making sense: Interactive sculptures as tangible design material." <i>Proceedings of the 2007 conference on Designing pleasurable products and interfaces</i> . ACM, 2007.	0
67	Maquil, Valérie. "Towards understanding the design space of tangible user interfaces for collaborative urban planning." <i>Interacting with Computers</i> 28.3 (2015): 332-351.	0
68	Lee, Jung-Joo, et al. "Domestic appropriations of tokens to the web." <i>Proceedings of the 2014 conference on Designing interactive systems</i> . ACM, 2014.	1
69	Fleck, Stéphanie, and Martin Hachet. "Making tangible the intangible: Hybridization of the real and the virtual to enhance learning of abstract phenomena." <i>Frontiers in ICT</i> 3 (2016): 30.	0
70	Martinussen, Einar Sneve, Jørn Knutsen, and Timo Arnall. "Bowl: token-based media for children." <i>Proceedings of the 2007 conference on Designing for User eXperiences</i> . ACM, 2007.	1
71	Lin, Chih-Lung, et al. "Emotion Caster: Tangible emotion sharing device and multimedia display platform for intuitive interactions." <i>2009 IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics</i> . IEEE, 2009.	0
73	Miller, Chreston, et al. "Interaction techniques for the analysis of complex data on high-resolution displays." <i>Proceedings of the 10th international conference on Multimodal interfaces</i> . ACM, 2008.	0
75	Surie, Dipak, et al. "Egocentric interaction as a tool for designing ambient ecologies—The case of the easy ADL ecology." <i>Pervasive and Mobile Computing</i> 8.4 (2012): 597-613.	0
77	Guerrero, Graciela, et al. "Integrating virtual worlds with tangible user interfaces for teaching mathematics: A pilot study." <i>Sensors</i> 16.11 (2016): 1775.	1
79	Liang, Rong-Hao, Han-Chih Kuo, and Bing-Yu Chen. "GaussRFID: Reinventing physical toys using magnetic RFID development kits." <i>Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2016.	0
81	Hsieh, Meng-Ju, et al. "RFIBricks: interactive building blocks based on RFID." <i>Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2018.	1
82	Ward, Nicholas, and Giuseppe Torre. "Constraining Movement as a Basis for DMI Design and Performance." <i>NIME</i> . 2014.	0
83	De Raffaele, Clifford, Serengul Smith, and Orhan Gemikonakli. "The aptness of Tangible User Interfaces for explaining abstract computer network principles." <i>2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)</i> . IEEE, 2016.	0
84	Mora, Simone, Ines Di Loreto, and Monica Divitini. "The interactive-token approach to board games." <i>European Conference on Ambient Intelligence</i> . Springer, Cham, 2015.	1

ID	Référence	T+C ?
91	Cheng, Lim Kok, et al. "GUI vs. TUI: engagement for children with no prior computing experience." <i>Electronic Journal of Computer Science and Information Technology: eJCIST</i> 3.1 (2011).	0
92	Couture, Nadine, Guillaume Rivière, and Patrick Reuter. "Tangible interaction in mixed reality systems." <i>The Engineering of Mixed Reality Systems</i> . Springer, London, 2010. 101-120.	0
93	Krause, Frank-lothar, et al. "Usability of hybrid, physical and virtual objects for basic manipulation tasks in virtual environments." <i>2007 IEEE Symposium on 3D User Interfaces</i> . IEEE, 2007.	0
96	Maass, Wolfgang, and Tobias Kowatsch. "Let's get married: Adoption of interactive product information for bundle purchases by tangible user interfaces." (2009). 4th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS'09), Athens, Greece. pp 266-277.	1
98	Poor, G. Michael, et al. "Applying the Norman 1986 user-centered model to post-WIMP UIs: Theoretical predictions and empirical outcomes." <i>ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)</i> 23.5 (2016): 30.	0
99	Esteves, Augusto, and Ian Oakley. "Informing design by recording tangible interaction." <i>CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2011.	0
108	Jaffe, Elliot, Aviva Dayan, and Amnon Dekel. "Cube management system: a tangible interface for monitoring large scale systems." <i>Proceedings of the 2007 symposium on Computer human interaction for the management of information technology</i> . ACM, 2007.	1
111	Arif, Ahmed Sabbir, et al. "Extending the Design Space of Tangible Objects via Low-Resolution Edge Displays." <i>Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction</i> . ACM, 2017.	0
112	Christou, Georgios, Frank E. Ritter, and Robert JK Jacob. "Modeling prehensile actions for the evaluation of tangible user interfaces." <i>ITI 2008-30th International Conference on Information Technology Interfaces</i> . IEEE, 2008.	0
115	Coutrix, Céline, and Laurence Nigay. "An Integrating Framework for Mixed Systems." <i>The Engineering of Mixed Reality Systems</i> . Springer, London, 2010. 9-31.	0
163	Ehrenstrasser, Lisa, and Wolfgang Spreicer. "Personal Interaction through Individual Artifacts." <i>Mensch &amp; Computer 2012-Workshopband: interaktiv informiert—allgegenwärtig und allumfassend!?</i> (2012).	0
123	Jofre, Ana, Steve Sziget, and Sara Diamond. "Citizen engagement through tangible data representation." <i>Foro de Educación</i> 14.20 (2016): 305-325.	0
124	D'Amico, Gianpaolo, et al. "Natural Human-Computer Interaction." <i>Multimedia Interaction and Intelligent User Interfaces</i> . Springer, London, 2010. 85-106.	0
126	Kuo, Han-Chih, et al. "GaussMarbles: spherical magnetic tangibles for interacting with portable physical constraints." <i>Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems</i> . ACM, 2016.	1
128	Nakazawa, Jin, and Hideyuki Tokuda. "Phygital map: Accessing digital multimedia from physical map." <i>21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)</i> . Vol. 2. IEEE, 2007.	0
130	Appert, Caroline, et al. "Custom-made tangible interfaces with touchtokens." <i>Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces</i> . ACM, 2018.	0
132	Celentano, Augusto, and Emmanuel Dubois. "Evaluating metaphor reification in tangible interfaces." <i>Journal on Multimodal User Interfaces</i> 9.3 (2015): 231-252.	0
134	Pathak, Akanksha, and Itsuo Kumazawa. "Usability evaluation of touch panel-based mobile device on user interface with multimodal feedback." <i>IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM-2012)</i> . IEEE, 2012.	0
135	Francesconi, Juan Ignacio, Martín Leonardo Larrea, and Cristina Manresa-Yee. "Tangible music composer for children." <i>Journal of Computer Science and Technology</i> 13.02 (2013): 84-90.	1
140	Hansen, Thomas Riisgaard, Eva Eriksson, and Andreas Lykke-Olesen. "Movement and Space-Exploring the Space in Movement based Interaction." <i>The Workshop Call for Participation</i> . 2005.	0
142	Sánchez-Acevedo, Miguel A., Beatriz A. Sabino-Moxo, and José A. Márquez-Domínguez. "Mobile Augmented Reality: Evolving Human-Computer Interaction." <i>Mobile Platforms, Design, and Apps for Social Commerce</i> . IGI Global, 2017. 153-174.	0
144	Ventes, Christian C., et al. "A Programming Library for Creating Tangible User Interfaces." <i>GSTF Journal on Computing (JoC)</i> 4.1 (2018).	0
145	Le Goc, Mathieu, et al. "Dynamic composite data physicalization using wheeled micro-robots." <i>IEEE transactions on visualization and computer graphics</i> 25.1 (2019): 737-747.	0
149	de Siqueira, Alexandre G., et al. "Hard and Soft Tangibles: Mixing Multi-touch and Tangible Interaction in Scientific Poster Scenarios." <i>Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction</i> . ACM, 2018.	1
154	Huang, Yinghsiu, Kai-Wei Hsieh, and Huan-Nian Chen. "The Emotional Design by Combining Interactive Technologies and Imaginations." <i>Achten, Henri</i> (2012): 361-368.	0



ID	Référence	T+C ?
161	Nofal, Eslam, et al. "Collaborative Tangible Gamification of Built Heritage for Young Museum Visitors." <i>Initial Training Network (ITN) on Digital Cultural Heritage (DCH) Final Conference on Digital Heritage</i> . 2017.	0
164	Bedwell, Ben, and Boriana Koleva. "Demonstrating Coherent Interactions between Personal Mobile Devices and Situated Installations." <i>Mobile Interaction with the Real World (MIRW 2007)</i> (2007): 47.	0
167	Panchaphongsaphak, Bundit, and Robert Riener. "Tokens and Board User Interface Based on a Force-Torque Sensing Technique." <i>2007 IEEE Symposium on 3D User Interfaces</i> . IEEE, 2007.	0
179	Sellitsch, David, and Hilda Tellioglu. "A Context Aware Music Player: A Tangible Approach." <i>on Interacting with Smart Objects</i> : 56.	1
181	Harlalka, Akash, et al. "Tangemon: A New TUI To Capture Precious Moments." <i>Proceedings of the India HCI 2014 Conference on Human Computer Interaction</i> . ACM, 2014.	0
185	Kobayashi, Shigeru, and Masayuki Akamatsu. "Spinner: A Haptic Reconfigurable Interface."	
188	Feng, Dan, et al. "Research on the tangible tabletop interaction system based on the optical sensors." <i>2011 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optical Systems and Modern Optoelectronic Instruments</i> . Vol. 8197. International Society for Optics and Photonics, 2011.	0
190	Guo, Nathan. "Melokey: Create Melody with Keys." <i>Proceedings of the Audio Mostly 2016</i> . ACM, 2016.	1
205	Van Campenhout, Lukas, et al. "The enriching limitations of the physical world." <i>Personal and Ubiquitous Computing</i> 23.1 (2019): 81-98.	1
206	Winder, James Ira, and Kent Larson. "Bits and Bricks." Future Technologies Conference (FTC) 2017	1
207	WYSE, LONCE, and RODNEY BERRY. "The Music Table Revisited: Problems of Changing Levels of Detail and Abstraction in a Tangible Representation." <i>Multimodal Studies</i> . Routledge, 2012. 96-114.	0
210	Panchaphongsaphak, Bundit, Robert Riener, and Brygg Ullmer. "Contact-sensitive artefacts: implementing tangible interfaces through force-torque sensing." <i>International Journal of Arts and Technology</i> 1.3-4 (2008): 332-350.	0
212	Mosher, Matthew. "If These Walls Could Speak: Tangible Memories." <i>Proceedings of the 12th International Audio Mostly Conference on Augmented and Participatory Sound and Music Experiences</i> . ACM, 2017.	1
220	Maass, Wolfgang, et al. "Towards a transition to tangible commerce." <i>4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies</i> . IEEE, 2010.	0

## Bibliographie

---

Adlin, T. et Pruitt, J. (2010) *The essential persona lifecycle: Your guide to building and using personas*. Morgan Kaufmann.

Ali, S., Koleva, B., Bedwell, B. et Benford, S. (2018) « Deepening visitor engagement with museum exhibits through hand-crafted visual markers », in *DIS 2018 - Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*. Association for Computing Machinery, Inc, p. 523-534. doi: 10.1145/3196709.3196786.

Allen, S. (2004) « Designs for learning: Studying science museum exhibits that do more than entertain », *Science Education*. John Wiley & Sons, Ltd, 88(S1), p. S17-S33. doi: 10.1002/sce.20016.

Almeshari, M., Dowell, J. et Nyhan, J. (2019) « Using Personas to Model Museum Visitors », in *Proceedings of ACM 27th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization Adjunct (UMAP'19 Adjunct)*. ACM, p. 5. doi: 10.1145/3314183.3323867.

Andreacola, F. (2014) « Musée et numérique, enjeux et mutations », *Revue française des sciences de l'information et de la communication*. Société Française de Sciences de l'Information et de la Communication, (5), consulté le 31 mars 2020. URL : <http://journals.openedition.org/rfsic/1056> ;. doi: 10.4000/rfsic.1056.

Angelini, L., Mugellini, E., Khaled, O. A., Couture, N., Van Den Hoven, E. et Bakker, S. (2018) « Internet of tangibles: Exploring the interaction-attention continuum », in *TEI 2018 - Proceedings of the 12th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. Association for Computing Machinery, Inc, p. 740-743. doi: 10.1145/3173225.3173334.

Antonio Gómez Jáuregui, D. et Couture, N. (2019) « Tacsel: Shape-Changing Tactile Screen applied for Eyes-Free Interaction in Cockpit », in *INCOSE Human Systems Integration (HSI2019)*. Biarritz, France.

Aoki, P. M., Grinter, R. E., Hurst, A., Szymanski, M. H., Thornton, J. D. et Woodruff, A. (2002) « Sotto Voce: Exploring the interplay of conversation and mobile audio spaces », in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, p. 431-438. doi: 10.1145/503376.503454.

Ardissono, L., Goy, A., Petrone, G., Segnan, M. et Torasso, P. (2003) « Intrigue: personalized recommendation of tourist attractions for desktop and hand held devices », *Applied Artificial Intelligence*. Taylor & Francis Group , 17(8-9), p. 687-714. doi: 10.1080/713827254.

Ardissono, L., Kuflik, T. et Petrelli, D. (2012) « Personalization in cultural heritage: the road travelled and the one ahead », *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Kluwer Academic Publishers, 22(1-2), p. 73-99. doi: 10.1007/s11257-011-9104-x.

Arnaldi, B., Guitton, P. et Moreau, G. (2018) *Réalité virtuelle et réalité augmentée: Mythes et réalités*. ISTE Ed.

Asimov, D. (1985) « The Grand Tour: A Tool for Viewing Multidimensional Data », *SIAM Journal*

on *Scientific and Statistical Computing*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 6(1), p. 128-143. doi: 10.1137/0906011.

Avram, G. et Maye, L. (2016) « Co-designing Encounters with Digital Cultural Heritage », in *Proceedings of the 2016 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems - DIS '16 Companion*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 17-20. doi: 10.1145/2908805.2908810.

Azenkot, S., Ladner, R. E. et Wobbrock, J. O. (2011) « Smartphone haptic feedback for nonvisual wayfinding », in *ASSETS'11: Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 281-282. doi: 10.1145/2049536.2049607.

Bakker, S., van den Hoven, E. et Eggen, B. (2015) « Peripheral interaction: characteristics and considerations », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer-Verlag London Ltd, 19(1), p. 239-254. doi: 10.1007/s00779-014-0775-2.

Bakker, S. et Niemantsverdriet, K. (2016) « The Interaction-Attention Continuum: Considering Various Levels of Human Attention in Interaction Design », *International Journal of Design*, 10(2). p. 1-14.

Bakshy, E., Messing, S. et Adamic, L. A. (2015) « Exposure to ideologically diverse news and opinion on Facebook », *Science*. American Association for the Advancement of Science, 348(6239), p. 1130-1132. doi: 10.1126/science.aaa1160.

Bangor, A., Kortum, P. T. et Miller, J. T. (2008) « An empirical evaluation of the system usability scale », *International Journal of Human-Computer Interaction*. Taylor & Francis Group , 24(6), p. 574-594. doi: 10.1080/10447310802205776.

Baudisch, P., Becker, T. et Rudeck, F. (2010) « Lumino: tangible blocks for tabletop computers based on glass fiber bundles », in *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems - CHI'10*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1165-1174. doi: 10.1145/1753326.1753500.

Beaudouin-Lafon, M. et Mackay, W. (2003) « Prototyping tools and techniques », in *Human-Computer Interaction-Development Process*. New York: Associates, Lawrence Erlbaum, p. 122-142.

Bellotti, V., Back, M., Edwards, W. K., Grinter, R. E., Henderson, A. et Lopes, C. (2002) « Making sense of sensing systems: Five Questions for Designers and Researchers », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '02*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 415. doi: 10.1145/503376.503450.

Bertin, J. (1973) *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris: Gauthier-Villars Mouton & Cie.

Bishop, D. (1992) « Marble answering machine », *Royal College of Art, Interaction Design*.

Bortolaso, C. (2012) *Méthode de conception assistée par les modèles pour les systèmes interactifs mixtes*. Thèse. Interface homme-machine. Université Paul Sabatier - Toulouse III.

Bougenies, F., Houriez, J., Houriez, S. et Leleu-Merviel, S. (2015) « Musée pour tous : un dispositif de découverte dans les murs et son évaluation », *Culture & musées*. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, (26), p. 115-139. doi: 10.4000/culturemusees.343.

- Bowen, J. P. et Filippini-Fantoni, S. (2004) « Personalization And The Web From A Museum Perspective », in *Museums and the Web*. Consulté le 31 mars 2020. URL : <http://www.archimuse.com/mw2004/papers/bowen/bowen.html>
- Bradburne, J. M. (2001) « A New Strategic Approach to the Museum and its Relationship to Society », *Museum Management and Curatorship*. Taylor & Francis Group, 19(1), p. 75-84. doi: 10.1080/09647770100701901.
- Brooke, J. (1996) « SUS-A quick and dirty usability scale », in Jordan, P. W., Thomas, B., Weerdmeester, B. A., et McClelland, I. L. (éd.) *Usability evaluation in industry*. London: Taylor & Francis, p. 189-194.
- Brudy, F., Holz, C., Rädle, R., Wu, C.-J., Houben, S., Klokmoose, C. N. et Marquardt, N. (2019) « Cross-Device Taxonomy: Survey, Opportunities and Challenges of Interactions Spanning Across Multiple Devices », in *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1-28. doi: 10.1145/3290605.3300792.
- Bullinger, H.-J., Ziegler, J. et Bauer, W. (2002) « Intuitive Human-Computer Interaction-Toward a User-Friendly Information Society », *International Journal of Human-Computer Interaction*. Taylor & Francis, 14(1), p. 1-23.
- Calvillo-Gámez, E. H., Leland, N., Shaer, O. et Jacob, R. J. K. (2003) « The TAC paradigm: Unified Conceptual Framework to Represent Tangible User Interfaces », in *Proceedings of the Latin American conference on Human-computer interaction - CLIHC '03*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 9-15. doi: 10.1145/944519.944521.
- Van Campenhout, L., Frens, J., Hummels, C., Standaert, A. et Peremans, H. (2019) « The enriching limitations of the physical world », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer-Verlag, 23(1), p. 81-98. doi: 10.1007/s00779-018-1176-8.
- Chu, J., Mazalek, A., Chu, J. H. et Mazalek, A. (2019) « Embodied Engagement with Narrative: A Design Framework for Presenting Cultural Heritage Artifacts », *Multimodal Technologies and Interaction*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 3(1), p. 1. doi: 10.3390/mti3010001.
- Cinquin, P.-A., Giraudeau, P., Lainé, T. et Cousin, L. (2018) « Erlen: Une interface tangible pour la réduction de la consommation énergétique sur le poste de travail », in *30eme conférence francophone sur l'interaction homme-machine*. Brest, France, p. A55-A56.
- Cordeil, M., Bach, B., Yongchao Li, Wilson, E. et Dwyer, T. (2017) « Design space for spatio-data coordination: Tangible interaction devices for immersive information visualisation », in *2017 IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)*. IEEE, p. 46-50. doi: 10.1109/PACIFICVIS.2017.8031578.
- Couture, N. (2010a) *Interaction Tangible, de l'incarnation physique des données vers l'interaction avec tout le corps*. HDR. Interface homme-machine [cs.HC]. ÉCOLE DOCTORALE DE MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE, UNIVERSITÉ BORDEAUX 1.
- Couture, N. (2010b) « L'Interaction Tangible ». Biarritz, France: TEDx Basque Country. hal-01072118.
- Couture, N. et Minel, S. (2006) « TactiMod dirige et oriente un piéton », in *3è Journées Francophones Mobilité et Ubiquité (Ubimob'06)*. Paris, France, p. 9-16.

- Couture, N., Rivière, G. et Reuter, P. (2008) « GeoTUI: a tangible user interface for geoscience », in *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction - TEI'08*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 89. doi: 10.1145/1347390.1347411.
- Cutkosky, M. R. et Howe, R. D. (1990) « Human Grasp Choice and Robotic Grasp Analysis », in *Dextrous Robot Hands*. New York, NY: Springer New York, p. 5-31. doi: 10.1007/978-1-4613-8974-3\_1.
- Daniel, M., Rivière, G. et Couture, N. (2019) « CairnFORM: a Shape-Changing Ring Chart Notifying Renewable Energy Availability in Peripheral Locations », in *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '19*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 275-286. doi: 10.1145/3294109.3295634.
- Davies, M. et Heath, C. (2014) « "Good" organisational reasons for "ineffectual" research: Evaluating summative evaluation of museums and galleries », *Cultural Trends*. Routledge, 23(1), p. 57-69. doi: 10.1080/09548963.2014.862002.
- Delic, A., Neidhardt, J., Nguyen, T. N. et Ricci, F. (2018) « An observational user study for group recommender systems in the tourism domain », *Information Technology and Tourism*. Springer Berlin Heidelberg, 19(1-4), p. 87-116. doi: 10.1007/s40558-018-0106-y.
- Detken, K., Martinez, C. et Schrader, A. (2009) « The search wall: tangible information searching for children in public libraries », in *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction - TEI '09*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 289. doi: 10.1145/1517664.1517724.
- Dim, E. et Kuflik, T. (2014) « Automatic detection of social behavior of museum visitor pairs », *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*. Association for Computing Machinery, 4(4), p. 1-30. doi: 10.1145/2662869.
- Ducasse, J., Macé, M., Serrano, M. et Jouffrais, C. (2016) « Tangible Reels: Construction and Exploration of Tangible Maps by Visually Impaired Users », in *Proceedings of the 2016 CHI conference on human factors in computing systems CHI'16*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 2186-2197. doi: 10.1145/2858036.2858058.
- Duranti, D. (2017) *Tangible Interaction in Museums and Cultural Heritage Sites: Towards a Conceptual and Design Framework*. PhD Program in Management and Development of Cultural Heritage XXVIII Cycle. IMT School for Advanced Studies LUCCA.
- Economou, M. et Meintani, E. (2011) « Promising Beginning? Evaluating Museum Mobile Phone Apps », in *Proceedings of the Re-Thinking Technology in Museums Emerging Experience Conference*, p. 87-101.
- Edge, D. et Blackwell, A. F. (2009) « Peripheral tangible interaction by analytic design », in *Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, TEI'09*, p. 69-76. doi: 10.1145/1517664.1517687.
- Eidelman, J., Gottesdiener, H. et Le Marec, J. (2013) « Visiter les musées: Expérience, appropriation, participation », *Culture & musées*. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, (Hors-série), p. 73-113. doi: 10.4000/culturemusees.720.
- Elmqvist, N., Dragicevic, P. et Fekete, J.-D. (2008) « Rolling the Dice: Multidimensional Visual Exploration using Scatterplot Matrix Navigation », *IEEE Transactions on Visualization and*

*Computer Graphics*, 14(6), p. 1539-1148. doi: 10.1109/TVCG.2008.153.

Elmqvist, N., Moere, A. Vande, Jetter, H.-C., Cernea, D., Reiterer, H. et Jankun-Kelly, T. (2011) « Fluid interaction for information visualization », *Information Visualization*. SAGE PublicationsSage UK: London, England, 10(4), p. 327-340. doi: 10.1177/1473871611413180.

Esteves, A., Bakker, S., Antle, A. N., May, A., Warren, J. et Oakley, I. (2015) « The ATB Framework: Quantifying and Classifying Epistemic Strategies in Tangible Problem-Solving Tasks », in *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 13-20. doi: 10.1145/2677199.2680546.

Fails, J. A. et Olsen, D. R. (2003) « Interactive machine learning », in *Proceedings of the 8th international conference on Intelligent user interfaces - IUI '03*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 39. doi: 10.1145/604045.604056.

Falcão, T. P. et Price, S. (2009) « What have you done! the role of "interference" in tangible environments for supporting collaborative learning. », in *Proceedings of the conference on Computer Support Collaborative Learning Practices: CSCL2009*, p. 325-334.

Falk, J. H. (2009) *Identity and the Museum Visitor Experience*. Routledge. doi: 10.4324/9781315427058.

Falk, J. H. et Dierking, L. D. (2011) *The Museum Experience*. New York: Routledge. doi: 10.4324/9781315417899.

Fantoni, S. F. (2009) *Approche critique des stratégies de personnalisation dans les musées: théorie et pratique*. Thèse de doctorat, Arts et sciences de l'art. Médiation de la culture. Paris 1.

Fatmi, Y., Franco, F., Guilbert, S. et Manéré, J. (2019) *Projet Muséo Rapport de chef d'œuvre Master 2 IHM (Toulouse)*.

Filippini Fantoni, S. (2003) « Personalization through IT in Museums. Does it really work? The case of the Marble Museum website », in *Proceedings of ICHIM03 on Cultural Institutions and Digital Technology, Paris*. Paris, France, p. 2.

FisherKeller, M. A., Friedman, J. H. et Tukey, J. W. (1988) « PRIM-9: an interactive multidimensional data display and analysis system », in William S. Cleveland and Marylyn E. McGill (éd.) *Dynamic Graphic for Statistics*. Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software, p. 91-109.

Fishkin, K. P. (2004) « A taxonomy for and analysis of tangible interfaces », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer-Verlag, London, UK, 8(5), p. 347-358. doi: 10.1007/s00779-004-0297-4.

Fitzmaurice, G. W. et Buxton, W. (1997) « An empirical evaluation of graspable user interfaces: towards specialized, space-multiplexed input », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '97*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 43-50. doi: 10.1145/258549.258578.

Fitzmaurice, G. W., Ishii, H. et Buxton, W. A. S. (1995) « Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, p. 442-449.

- Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Hogge, A. et Ishii, H. (2013) « inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation », in *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '13*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 417-426. doi: 10.1145/2501988.2502032.
- Fosh, L., Benford, S., Reeves, S., Koleva, B. et Brundell, P. (2013) « See Me, Feel Me, Touch Me, Hear Me: Trajectories and Interpretation in a Sculpture Garden », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '13*. New York, NY, USA: ACM, p. 149-158. doi: 10.1145/2470654.2470675.
- Francesconi, J. I., Larrea, M. L. et Manresa-Yee, C. (2013) « Tangible music composer for children », *Journal of Computer Science and Technology*, 13(02), p. 84-90.
- Freeman, E., Wilson, G., Vo, D.-B., Ng, A., Politis, I. et Brewster, S. (2017) « Multimodal feedback in HCI: haptics, non-speech audio, and their applications », in *The Handbook of Multimodal-Multisensor Interfaces: Foundations, User Modeling, and Common Modality Combinations - Volume 1*. ACM, p. 277-317. doi: 10.1145/3015783.3015792.
- Fröhlich, B. et Plate, J. (2000) « The cubic mouse: a new device for three-dimensional input », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '00*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 526-531. doi: 10.1145/332040.332491.
- Garcia, J. (2014) *Supporting music composition with interactive paper*. Thèse de doctorat. Université Paris Sud - Paris XI.
- Garreau, L., Legardeur, J. et Couture, N. (2005) « Une plateforme basée sur les interfaces tangibles pour l'assemblage en CFAO », *Revue internationale d'ingénierie numérique (RIIN'05)*, 1(2), p. 133-148.
- Gaver, B., Dunne, T. et Pacenti, E. (1999) « Design: cultural probes », *interactions*. ACM, 6(1), p. 21-29.
- Gellereau, M. (2005) *Mises en scene de la visite guidee*. L'Harmattan.
- Gibson, J. J. (1986) *The ecological approach to visual perception*. London: L. Erlbaum.
- Giraud, S., Brock, A. M., Macé, M. J.-M. et Jouffrais, C. (2017) « Map Learning with a 3D Printed Interactive Small-Scale Model: Improvement of Space and Text Memorization in Visually Impaired Students », *Frontiers in Psychology*, 8. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00930.
- Girouard, A., Shaer, O., Solovey, E. T., Poor, G. M. et Jacob, R. J. K. (2019) « The Reality of Reality-Based Interaction: Understanding the Impact of a Framework as a Research Tool », *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. Association for Computing Machinery (ACM), 26(5), p. 1-35. doi: 10.1145/3319617.
- Golsteijn, C., Gallacher, S., Koeman, L., Wall, L., Andberg, S., Rogers, Y. et Capra, L. (2014) « VoxBox: a Tangible Machine that Gathers Opinions from the Public at Events », in *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI'14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 201-208. doi: 10.1145/2677199.2680588.
- Gomes, A., Nesbitt, A. et Vertegaal, R. (2013) « MorePhone: A study of actuated shape deformations for flexible thin-film smartphone notifications », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 583-592. doi:

10.1145/2470654.2470737.

Gomes, A. et Vertegaal, R. (2014) « PaperFold: A shape changing mobile device with multiple reconfigurable electrophoretic magnetic display tiles », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, p. 535-538. doi: 10.1145/2559206.2574770.

Gorbet, M. G., Orth, M. et Ishii, H. (1998) « Triangles: tangible interface for manipulation and exploration of digital information topography », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems - CHI '98*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 49-56. doi: 10.1145/274644.274652.

Greenbaum, J. M. et Kyng, M. (1991) *Design at work: cooperative design of computer systems, Design at Work*. L. Erlbaum Associates.

Grinter, R. E., Aoki, P. M., Szymanski, M. H., Thornton, J. D., Woodruff, A. et Hurst, A. (2002) « Revisiting the Visit: Understanding How Technology Can Shape the Museum Visit », in *Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work - CSCW '02*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 146. doi: 10.1145/587078.587100.

Grote, C., Segreto, E., Okerlund, J., Kincaid, R. et Shaer, O. (2015) « Eugenie: Multi-Touch and Tangible Interaction for Bio-Design », in *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 217-224. doi: 10.1145/2677199.2680605.

Guerrero, G., Ayala, A., Mateu, J., Casades, L., Alamán, X., Guerrero, G., Ayala, A., Mateu, J., Casades, L. et Alamán, X. (2016) « Integrating Virtual Worlds with Tangible User Interfaces for Teaching Mathematics: A Pilot Study », *Sensors*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 16(11), p. 1775. doi: 10.3390/s16111775.

Guo, N. (2016) « Melokey: Create Melody with Keys », in *Proceedings of the Audio Mostly 2016 - AM '16*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 234-239. doi: 10.1145/2986416.2986417.

Heibeck, F., Tome, B., Silva, C. Della et Ishii, H. (2015) « Unimorph: Fabricating Thin Film Composites for Shape-Changing Interfaces », in *UIST 2015 - Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. Association for Computing Machinery, Inc, p. 233-242. doi: 10.1145/2807442.2807472.

Heuten, W., Henze, N., Boll, S. et Pielot, M. (2008) « Tactile wayfinder: A non-visual support system for wayfinding », in *ACM International Conference Proceeding Series*, p. 172-181. doi: 10.1145/1463160.1463179.

Hewett, T., Baecker, R., Card, S., Carey, T., Gasen, J., Mantei, M., Perlman, G., Strong, G. et Verplank, W. (1992) *ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction, ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction*. Association for Computing Machinery. doi: 10.1145/2594128.

Hofmann, J., Müller, J., Gipp, B. et Reiterer, H. (2016) « bibox: A Tangible Approach to Motivating Participation in Public Libraries », in *Mensch und Computer 2016*. doi: 10.18420/muc2016-mci-0030.

Hollan, J., Hutchins, E. et Kirsh, D. (2000) « Distributed Cognition: Toward a New Foundation for Human-Computer Interaction Research », *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*,



7(2), p. 174-196. doi: 10.1145/353485.353487.

Hood, M. G. (1983) « Staying away: Why people choose not to visit museums », *Museum news*, 61(4), p. 50-57.

Horn, M. S., Solovey, E. T., Crouser, R. J. et Jacob, R. J. K. (2009) « Comparing the use of tangible and graphical programming languages for informal science education », in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 975-984. doi: 10.1145/1518701.1518851.

Hornecker, E. (2002) « Understanding the Benefits of Graspable Interfaces for Cooperative Use. », in *Cooperative Systems Design: A Challenge of the Mobility Age*, p. 71-87.

Hornecker, E. (2010) « Creative idea exploration within the structure of a guiding framework: the card brainstorming game », *Proceedings of the fourth international conference on Tangible embedded and embodied interaction - TEI'10*, 10, p. 101-108. doi: 10.1145/1709886.1709905.

Hornecker, E. et Buur, J. (2006) « Getting a grip on tangible interaction », in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI'06*. Montréal, Québec, Canada: ACM Press, p. 437-446. doi: 10.1145/1124772.1124838.

Hornecker, E. et Ciolfi, L. (2019) *Human-Computer Interactions in Museums, Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics*. Morgan & Claypool Publishers. doi: 10.2200/S00901ED1V01Y201902HCI042.

Hornecker, E. et Nicol, E. (2012) « What do lab-based user studies tell us about in-the-wild behavior? », in *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference on - DIS '12*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 358. doi: 10.1145/2317956.2318010.

Hribar, V. E. et Pawluk, D. T. V. (2011) « A tactile-thermal display for haptic exploration of virtual paintings », in *ASSETS'11: Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 221-222. doi: 10.1145/2049536.2049577.

Hsieh, M.-J., Liang, R.-H., Huang, D.-Y., Ke, J.-Y. et Chen, B.-Y. (2018) « RFIBricks: interactive building blocks based on RFID. », in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI'18*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1-10. doi: 10.1145/3173574.3173763.

Hutchins, E. (1995) *Cognition in the Wild*. MIT press.

Inselberg, A. (1985) « The plane with parallel coordinates », *The Visual Computer*. Springer-Verlag, 1(2), p. 69-91. doi: 10.1007/BF01898350.

Ishii, H. et Ullmer, B. (1997) « Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms », in *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 234-241. doi: 10.1145/258549.258715.

Jacob, R. J. K., Ishii, H., Pangaro, G. et Patten, J. (2002) « A tangible interface for organizing information using a grid », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Changing our world, changing ourselves - CHI '02*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 339. doi: 10.1145/503376.503437.

Jacob, R., Mooney, P., Corcoran, P. et Winstanley, A. C. (2010) « Haptic-GIS: exploring the

possibilities », *SIGSPATIAL Special*. Association for Computing Machinery (ACM), 2(3), p. 13. doi: 10.1145/1953102.1953105.

Jaffe, E., Dayan, A. et Dekel, A. (2007) « Cube management system: a tangible interface for monitoring large scale systems », in *Proceedings of the 2007 symposium on Computer human interaction for the management of information technology - CHIMIT '07*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 4. doi: 10.1145/1234772.1234778.

Jansen, Y., Dragicevic, P., Isenberg, P., Alexander, J., Karnik, A., Kildal, J., Subramanian, S. et Hornbæk, K. (2015) « Opportunities and Challenges for Data Physicalization », in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 3227-3236. doi: 10.1145/2702123.2702180.

Jetter, H.-C., Gerken, J., Zöllner, M., Reiterer, H. et Milic-Frayling, N. (2011) « Materializing the query with facet-streams: a hybrid surface for collaborative search on tabletops », in *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 3013. doi: 10.1145/1978942.1979390.

Jetter, H. C., Leifert, S., Gerken, J., Schubert, S. et Reiterer, H. (2012) « Does (multi-)touch aid users' spatial memory and navigation in "panning" and in "zooming & panning" UIs? », in *Proceedings of the Workshop on Advanced Visual Interfaces AVI*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 83-90. doi: 10.1145/2254556.2254575.

Kammoun, S., Jouffrais, C., Guerreiro, T., Nicolau, H. et Jorge, J. (2012) « Guiding blind people with haptic feedback », in *Frontiers in Accessibility for Pervasive Computing (Pervasive 2012)*. Newcastle, UK.

Kanis, M., Groen, M., Meys, W. et Veenstra, M. (2012) « Studying screen interactions long-term: The library as a case », in ACM (éd.) *PerDis '12 Proceedings of the 2012 International Symposium on Pervasive Displays*. New York, NY, USA.

Katifori, A., Karvounis, M., Kourtis, V., Perry, S., Roussou, M. et Ioanidis, Y. (2018) « Applying Interactive Storytelling in Cultural Heritage: Opportunities, Challenges and Lessons Learned », in Rouse R., Koenitz H., H. M. (éds.), *Interactive Storytelling. ICIDS 2018. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Cham, p. 603-612. doi: 10.1007/978-3-030-04028-4\_70.

Keim, D. A. et Kriegel, H.-P. (1994) « VisDB: Database Exploration Using Multidimensional Visualization », *IEEE Computer Graphics and Applications*, 14(5), p. 40-49. doi: 10.1109/38.310723.

Kelley, J. F. (1984) « An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications », *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*. New York, NY, USA, 2(1), p. 26-41. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/357417.357420>.

Kim, H., Coutrix, C. et Roudaut, A. (2016) « KnobSlider: design of a shape-changing device grounded in users' needs », in *Actes de la 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine - IHM'16*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 91-102. doi: 10.1145/3004107.3004125.

Kirsh, D. (1995) « Complementary Strategies: Why we use our hands when we think », in *Seventeenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, p. 212-217.

- Kirsh, D. et Maglio, P. (1994) « On distinguishing epistemic from pragmatic action », *Cognitive Science*, 18(4), p. 513-549. doi: 10.1016/0364-0213(94)90007-8.
- Klemmer, S. R., Hartmann, B. et Takayama, L. (2006) « How bodies matter: five themes for interaction design », in *Proceedings of the 6th ACM conference on Designing Interactive systems - DIS '06*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 140. doi: 10.1145/1142405.1142429.
- Klum, S., Isenberg, P., Langner, R., Fekete, J.-D. et Dachsel, R. (2012) « Stackables: combining tangibles for faceted browsing », in *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '12*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 241. doi: 10.1145/2254556.2254600.
- Kolski, C., Boy, G. A., Melançon, G., Ochs, M. et Vanderdonckt, J. (2020) « Cross-Fertilisation Between Human-Computer Interaction and Artificial Intelligence », in Marquis, P., Papini, O., et Prade, H. (éd.) *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research*. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-06170-8.
- Konstantakis, M., Michalakis, K., Aliprantis, J., Kalatha, E., Moraitou, E. et Caridakis, G. (2018) « A methodology for optimised cultural user personas experience - Cure architecture », in *Proceedings of the 32nd International BCS Human Computer Interaction Conference, HCI 2018*. doi: 10.14236/ewic/HCI2018.10.
- Kosmopoulos, D. et Styliaras, G. (2018) « A survey on developing personalized content services in museums », *Pervasive and Mobile Computing*. Elsevier B.V., p. 54-77. doi: 10.1016/j.pmcj.2018.05.002.
- Kubicki, S., Lepreux, S. et Kolski, C. (2011) « Evaluation of an interactive table with tangible objects: Application with children in a classroom », in *Proceedings 2nd workshop on child computer interaction « UI Technologies and Educational Pedagogy », at CHI 2011*.
- Kubicki, S., Lepreux, S., Lebrun, Y., Dos Santos, P., Kolski, C. et Caelen, J. (2009) « New human-computer interactions using tangible objects: Application on a digital tabletop with RFID technology », in Jacko, J. A. (éd.) *Human-Computer Interaction. Ambient, Ubiquitous and Intelligent Interaction. HCI 2009. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 446-455. doi: 10.1007/978-3-642-02580-8\_49.
- Kubitza, T. et Schmidt, A. (2015) « Towards a toolkit for the rapid creation of smart environments », in Paloma, D., Pipek, V., Ardito, C., Jensen, C., Aedo, I., et Boden, A. (éd.) *End-User Development. 5th International Symposium, IS-EUD 2015*. Madrid, Spain: Springer, p. 230-235. doi: 10.1007/978-3-319-18425-8\_21.
- Kuflik, T., Stock, O., Zancanaro, M., Gorfinkel, A., Jbara, S., Kats, S., Sheidin, J. et Kashtan, N. (2011) « A visitor's guide in an active museum: Presentations, communications, and reflection », *Journal on Computing and Cultural Heritage*. Association for Computing Machinery, 3(3), p. 1-25. doi: 10.1145/1921614.1921618.
- Kuo, H.-C., Liang, R.-H., Lin, L.-F. et Chen, B.-Y. (2016) « GaussMarbles: Spherical Magnetic Tangibles for Interacting with Portable Physical Constraints », in *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 4228-4232. doi: 10.1145/2858036.2858559.
- Lallemand, C. et Gronier, G. (2015) *Méthodes de design UX: 30 méthodes fondamentales pour*

*concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. Eyrolles.

Langner, R., Augsburg, A. et Dachsett, R. (2014) « CubeQuery: Tangible Interface for Creating and Manipulating Database Queries », in *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces - ITS '14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 423-426. doi: 10.1145/2669485.2669526.

Lanir, J., Kuflik, T., Dim, E., Wecker, A. J. et Stock, O. (2013) « The Influence of a Location-Aware Mobile Guide on Museum Visitors' Behavior », *Interacting with Computers*. Springer, Corfu, Greece, 25(6), p. 443-460. doi: 10.1093/iwc/iwt002.

Lanir, J., Kuflik, T., Sheidin, J., Yavin, N., Leiderman, K. et Segal, M. (2017) « Visualizing museum visitors' behavior: Where do they go and what do they do there? », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer London, 21(2), p. 313-326. doi: 10.1007/s00779-016-0994-9.

Laugwitz, B., Held, T. et Schrepp, M. (2008) « Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. », in Holzinger, A. (éd.) *HCI and Usability for Education and Work. Lecture Notes in Computer Science, Volume 5298*. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 63-76. doi: 10.1007/978-3-540-89350-9.

Leblanc, J., Ward, M. O. et Wittels, N. (1990) « Exploring N-dimensional databases », in *VIS '90 Proceedings of the 1st conference on Visualization '90*. San Francisco, California: IEEE Computer Society Press, p. 230-237.

Lee, J.-J., Lindley, S., Ylirisku, S., Regan, T., Nurminen, M. et Jacucci, G. (2014) « Domestic appropriations of tokens to the web », in *Proceedings of the 2014 conference on Designing interactive systems - DIS '14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 53-62. doi: 10.1145/2598510.2598542.

Lefeuvre, K., Totzauer, S., Storz, M., Kurze, A., Bischof, A. et Berger, A. (2018) « Bricks, Blocks, Boxes, Cubes, and Dice », in *Proceedings of the 2018 on Designing Interactive Systems Conference 2018 - DIS '18*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 485-496. doi: 10.1145/3196709.3196768.

Vom Lehn, D. et Heath, C. (2003) « Displacing the object: mobile technologies and interpretive resources », *Archives & Museum Informatics*, p.2.-15.

Letondal, C., Hurter, C., Lesbordes, R., Vinot, J. L. et Conversy, S. (2013) « Flights in my hands: Coherence concerns in designing strip'TIC, a tangible space for air traffic controllers », in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 2175-2184. doi: 10.1145/2470654.2481300.

Letondal, C., Vinot, J.-L., Pauchet, S., Boussiron, C., Rey, S., Becquet, V. et Lavenir, C. (2018) « Being in the sky: Framing tangible and embodied interaction for future airliner cockpits », in *TEI 2018 - Proceedings of the 12th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. doi: 10.1145/3173225.3173229.

Levasseur, M. et Veron, E. (1983) « Ethnographie d'une exposition », in *Histoires d'expo, Peuple et culture*, p. 29-32.

Li, R. Y.-C. et Liew, A. W.-C. (2015) « An interactive user interface prototype design for enhancing on-site museum and art gallery experience through digital technology », *Museum Management and Curatorship*. Routledge, 30(3), p. 208-229. doi:

10.1080/09647775.2015.1042509.

Loparev, A., Westendorf, L., Flemings, M., Cho, J., Littrell, R. et Shaer, O. (2017) « BacPack: Exploring the Role of Tangibles in a Museum Exhibit for Bio-Design », in *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, TEI'17*, p. 111-120. doi: 10.1145/3024969.3025000.

López-Nores, M., Kuflik, T., Wallace, M. et Naudet, Y. (2019) « Preface to the UMUI special issue on personalized delivery of cultural heritage content: perspectives on 7 years of progress in the field », *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Springer Netherlands, p. 1-7. doi: 10.1007/s11257-019-09230-x.

Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjman, S. et Zenasni, F. (2015) *Psychologie de la créativité*. Armand Colin.

Ma, J., Sindorf, L., Liao, I. et Frazier, J. (2015) « Using a tangible versus a multi-touch graphical user interface to support data exploration at a museum exhibit », in *TEI 2015 - Proceedings of the 9th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. Association for Computing Machinery, Inc, p. 33-40. doi: 10.1145/2677199.2680555.

Maass, W. et Kowatsch, T. (2009) « Let's Get Married: Adoption of Interactive Product Information For Bundle Purchases By Tangible User Interfaces », in *4th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS'09)*. Athens, Greece: Athens University of Economics & Business.

Mackay, W. E. (1999) « Is Paper Safer? The Role of Paper Flight Strips in Air Traffic Control », *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 6(4), p. 311-340. doi: 10.1145/331490.331491.

Mackay, W. E. et Fayard, A.-L. (1997) « HCI, natural science and design: a framework for triangulation across disciplines », in *Proceedings of the conference on Designing interactive systems processes, practices, methods, and techniques - DIS '97*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 223-234. doi: 10.1145/263552.263612.

Mackay, W. E. et Fayard, A. L. (1999) « Video brainstorming and prototyping », in *CHI '99 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI'99*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 118. doi: 10.1145/632716.632790.

Manshaei, R., Baig, N., Delong, S., Khayyer, S., East, B. et Mazalek, A. (2017) « Tangible mtDNA: A Tangible Tabletop System for Exploring Genetic Mutations on Mitochondrial DNA Cancer Data », in *Proceedings of the Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '17*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 101-110. doi: 10.1145/3024969.3025005.

Maquil, V., Moll, C. et Martins, J. (2017) « In the Footsteps of Henri Tudor: Creating Batteries on a Tangible Interactive Workbench », in *Proceedings of the Interactive Surfaces and Spaces - ISS '17*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 252-259. doi: 10.1145/3132272.3134115.

Maquil, V., Psik, T. et Wagner, I. (2008) « The ColorTable: a design story », in *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction - TEI '08*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 97. doi: 10.1145/1347390.1347412.

Marco, J., Cerezo, E. et Baldassarri, S. (2012) « ToyVision: a toolkit for prototyping tabletop

- tangible games », in *Proceedings of the 4th ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems - EICS '12*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 71. doi: 10.1145/2305484.2305498.
- Marshall, M. T., Dulake, N., Ciolfi, L., Duranti, D., Kockelkorn, H. et Petrelli, D. (2016) « Using Tangible Smart Replicas as Controls for an Interactive Museum Exhibition », in *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '16*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 159-167. doi: 10.1145/2839462.2839493.
- Martinussen, E. S., Knutsen, J. et Arnall, T. (2007) « Bowl: token-based media for children », in *Proceedings of the 2007 conference on Designing for User eXperiences - DUX '07*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 3. doi: 10.1145/1389908.1389930.
- Mauriéras, P. (2018) *Totem de personnalisation: une approche tangible pour aider les visiteurs à choisir leur visite de musée. Rapport Projet d'Initiation à la Recherche (ENAC)*.
- Maybury, M. T. (1999) « Intelligent User Interfaces Tutorial: an introduction (tutorial notes) », in *Proceedings of the Third International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI'99)*.
- Maye, L. A., McDermott, F. E., Ciolfi, L. et Avram, G. (2014) « Interactive exhibitions design: What Can We Learn From Cultural Heritage Professionals? », in *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction Fun, Fast, Foundational - NordiCHI '14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 598-607. doi: 10.1145/2639189.2639259.
- Mazalek, A. et Van Den Hoven, E. (2009) « Framing tangible interaction frameworks », *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 23(3), p. 225-235. doi: 10.1017/S0890060409000201.
- McCullough, M. (2012) « On attention to surroundings », *Interactions*, 19(6), p. 40. doi: 10.1145/2377783.2377793.
- Merrill, D., Kalanithi, J. et Maes, P. (2007) « Siftables: towards sensor network user interfaces », in *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction - TEI'07*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 75. doi: 10.1145/1226969.1226984.
- Merrill, D., Sun, E. et Kalanithi, J. (2012) « Sifteo cubes », in *Proceedings of the 2012 ACM annual conference extended abstracts on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts - CHI EA'12*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1015. doi: 10.1145/2212776.2212374.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. et Altman, D. G. (2010) « Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement », *International Journal of Surgery*, 8(5), p. 336-341. doi: 10.1016/j.ijsu.2010.02.007.
- Mora, S., Di Loreto, I. et Divitini, M. (2015) « The Interactive-Token Approach to Board Games », in Ruyter B., Kameas A., Chatzimisios P., M. I. (eds) (éd.) *Ambient Intelligence. Aml 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9425*. Springer, Cham, p. 138-154. doi: 10.1007/978-3-319-26005-1\_10.
- Mosher, M. (2017) « If These Walls Could Speak: Tangible Memories », in *Proceedings of the 12th International Audio Mostly Conference on Augmented and Participatory Sound and Music Experiences - AM '17*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1-4. doi: 10.1145/3123514.3123562.

- Nagel, T., Heidmann, F., Condotta, M. et Duval, E. (2010) « Venice unfolding: a tangible user interface for exploring faceted data in a geographical context », in *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction Extending Boundaries - NordiCHI '10*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 743. doi: 10.1145/1868914.1869019.
- Naudet, Y., Lykourantzou, I., Tobias, E., Antoniou, A., Rompa, J. et Lepouras, G. (2013) « Gaming and Cognitive Profiles for Recommendations in Museums », in *Proceedings of the 8th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization*. IEEE, p. 67-72. doi: 10.1109/SMAP.2013.16.
- Norman, D. (1988) *The Psychology of Everyday Things*. New York: Basic Books.
- Not, E. et Petrelli, D. (2018) « Blending customisation, context-awareness and adaptivity for personalised tangible interaction in cultural heritage », *International Journal of Human-Computer Studies*. Academic Press, 114, p. 3-19. doi: 10.1016/J.IJHCS.2018.01.001.
- Not, E. et Petrelli, D. (2019) « Empowering cultural heritage professionals with tools for authoring and deploying personalised visitor experiences », *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Springer Netherlands, p. 1-54. doi: 10.1007/s11257-019-09224-9.
- Ou, J., Skouras, M., Vlavianos, N., Heibeck, F., Cheng, C. Y., Peters, J. et Ishii, H. (2016) « AeroMorph - Heat-sealing inflatable shape-change materials for interaction design », in *UIST 2016 - Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*. Association for Computing Machinery, Inc, p. 121-132. doi: 10.1145/2984511.2984520.
- Paterno, F. et Mancini, C. (1999) « Designing web user interfaces adaptable to different types of use », in Trant, J. et Bearman, D. (éd.) *Proceedings of the International Conference for Culture and Heritage Online 1999 on Museums and the Web*. Pittsburgh, USA.
- Pauchet, S., Letondal, C., Vinot, J. L., Causse, M., Cousy, M., Becquet, V. et Crouzet, G. (2018) « GazeForm: Dynamic gaze-adaptive touch surface for eyes-free interaction in airliner cockpits », in *DIS 2018 - Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*. Association for Computing Machinery, Inc, p. 1193-1206. doi: 10.1145/3196709.3196712.
- Pauchet, S., Vinot, J. L., Letondal, C., Lemort, A., Lavenir, C., Lecomte, T., Rey, S., Becquet, V. et Crouzet, G. (2019) « Multi-plié: A linear foldable and flattenable interactive display to support efficiency, safety and collaboration exploring and ironing out design complexities with airliner pilots », in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. Association for Computing Machinery. doi: 10.1145/3290605.3300384.
- Perin, C., Dragicevic, P. et Fekete, J.-D. (2014) « Revisiting Bertin Matrices: New Interactions for Crafting Tabular Visualizations », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20(12), p. 2082-2091. doi: 10.1109/TVCG.2014.2346279.
- Perin, C., Le Goc, M., Di Vozzo, R., Fekete, J.-D. et Dragicevic, P. (2015) « DIY Bertin Matrix », in *Proceedings of the CHI Workshop on Exploring the Challenges of Making Data Physical*. Seoul, Korea: ACM.
- Petrelli, D., Ciolfi, L., van Dijk, D., Hornecker, E., Not, E. et Schmidt, A. (2013) « Integrating Material and Digital: A New Way for Cultural Heritage », *Interactions*. ACM, 20(4), p. 58-63. doi: 10.1145/2486227.2486239.
- Petrelli, D., Marshall, M. T., O'Brien, S., McEntaggart, P. et Gwilt, I. (2017) « Tangible data

souvenirs as a bridge between a physical museum visit and online digital experience », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer London, 21(2), p. 281-295. doi: 10.1007/s00779-016-0993-x.

Petrelli, D. et Not, E. (2005) « User-Centred Design of Flexible Hypermedia for a Mobile Guide: Reflections on the HyperAudio Experience », *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Kluwer Academic Publishers, 15(3-4), p. 303-338. doi: 10.1007/s11257-005-8816-1.

Petrelli, D. et O'Brien, S. (2018) « Phone vs. Tangible in Museums: A Comparative Study », in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1-12. doi: 10.1145/3173574.3173686.

Pielot, M., Poppinga, B., Heuten, W. et Boll, S. (2011) « A tactile compass for eyes-free pedestrian navigation », in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, p. 640-656. doi: 10.1007/978-3-642-23771-3\_47.

Piper, B., Ratti, C. et Ishii, H. (2002) « Illuminating clay: a 3-D tangible interface for landscape analysis », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Changing our world, changing ourselves - CHI '02*. New York, New York, USA: Association for Computing Machinery (ACM), p. 355. doi: 10.1145/503376.503439.

Pittarello, F. et Stecca, R. (2010) « Querying and navigating a database of images with the magical objects of the wizard Zurlino », in *Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '10*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 250. doi: 10.1145/1810543.1810583.

Ranganathan, S. R. (1962) *Elements of library classification*. Asia Publishing House.

Raptis, G. E., Fidas, C., Katsini, C. et Avouris, N. (2019) « A cognition-centered personalization framework for cultural-heritage content », *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Springer Netherlands, p. 1-57. doi: 10.1007/s11257-019-09226-7.

Rasch, P. J. et Burke, R. K. (1972) « Kinesiology and Applied Anatomy », *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. LWW, 51(1), p. 41.

Reuter, P., Riviere, G., Couture, N., Mahut, S. et Espinasse, L. (2010) « ArcheoTUI—Driving virtual reassemblies with tangible 3D interaction », *Journal on Computing and Cultural Heritage*. ACM, 3(2), p. 1-13. doi: 10.1145/1841317.1841319.

Rey, S. (2017) « Museomix: Lessons learned from an open creative hackathon in museums », in Anastasiou, D. et Maquil, V. (éd.) *CEUR Workshop Proceedings - Proceedings of the 3rd European Tangible Interaction Studio (ETIS 2017)*. Esch/Alzette, Luxembourg, p. 5.

Ridel, B., Reuter, P., Laviole, J., Mellado, N., Couture, N. et Granier, X. (2014) « The revealing flashlight: Interactive spatial augmented reality for detail exploration of cultural heritage artifacts », *Journal on Computing and Cultural Heritage*. Association for Computing Machinery, 7(2), p. 1-18. doi: 10.1145/2611376.

Rivière, G., Couture, N. et Jurado, F. (2009) « Tangible User Interfaces for geosciences », in *79th Society of Exploration Geophysicists International Exposition and Annual Meeting 2009, SEG 2009*. Society of Exploration Geophysicists, p. 1137-1141. doi: 10.1190/1.3255053.



- Roudaut, A., Martinez, D., Chohan, A., Otrocol, V.-S., Cobbe-Warburton, R., Steele, M. et Patrichi, I.-M. (2014) « Rubikon: a highly reconfigurable device for advanced interaction », in *Proceedings of the extended abstracts of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI EA '14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1327-1332. doi: 10.1145/2559206.2581275.
- Roussou, M. et Katifori, A. (2018) « Flow, Staging, Wayfinding, Personalization: Evaluating User Experience with Mobile Museum Narratives », *Multimodal Technologies and Interaction*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2(2), p. 32. doi: 10.3390/mti2020032.
- Roussou, M., Katifori, A., Pujol, L., Vayanou, M. et Rennick-Egglestone, S. J. (2013) « A Life of Their Own: Museum Visitor Personas Penetrating the Design Lifecycle of a Mobile Experience », in *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: ACM (CHI EA '13), p. 547-552. doi: 10.1145/2468356.2468453.
- Roussou, M., Pujol, L., Katifori, A., Chrysanthi, A., Perry, S. et Vayanou, M. (2015) « The Museum as Digital Storyteller: Collaborative Participatory Creation of Interactive Digital Experiences », in *Annual Conference of Museums and the Web: MW2015*.
- Rubino, I., Xhembulla, J., Martina, A., Bottino, A. et Malnati, G. (2013) « Musa: Using indoor positioning and navigation to enhance cultural experiences in a museum », *Sensors (Switzerland)*, 13(12), p 17445-17471. doi: 10.3390/s131217445.
- Sapounidis, T., Demetriadis, S. et Stamelos, I. (2015) « Evaluating children performance with graphical and tangible robot programming tools », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer-Verlag, 19(1), p. 225-237. doi: 10.1007/s00779-014-0774-3.
- Scaife, M. et Rogers, Y. (1996) « External cognition: How do graphical representations work? », *International Journal of Human Computer Studies*. Academic Press, 45(2), p. 185-213. doi: 10.1006/ijhc.1996.0048.
- Scarlato, L. L. (2006) « Tangible math », *Interactive Technology and Smart Education*, 3(4), p. 293-309. doi: 10.1108/17415650680000069.
- Schmidt, D., Sterz, C., Yurchenko, Y., Baudisch, P., Ramakers, R., Pedersen, E. W., Jasper, J., Köhler, S., Pohl, A., Rantzsch, H., Rau, A., Schmidt, P., Schmidt, D., Ramakers, R., Pedersen, E. W., Jasper, J., Köhler, S., Pohl, A., et al. (2014) « Kickables: tangibles for feet », in *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI '14*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 3143-3152. doi: 10.1145/2556288.2557016.
- Schneider, B., Blikstein, P. et MacKay, W. (2012) « Combinatorix: A tangible user interface that supports collaborative learning of probabilities », in *ITS 2012 - Proceedings of the ACM Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, p. 129-132. doi: 10.1145/2396636.2396656.
- Schneider, B., Jermann, P., Zufferey, G. et Dillenbourg, P. (2011) « Benefits of a Tangible Interface for Collaborative Learning and Interaction », *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(3), p. 222-232. doi: 10.1109/TLT.2010.36.
- Sellitsch, D. et Tellioglu, H. (2014) « A Context Aware Music Player: A Tangible Approach », in *IUI 2014 Workshop: Interacting with Smart Object*. Haifa, Israel, p. 56-59.
- Semper, R. et Spasojevic, M. (2002) « The Electronic Guidebook: Using Portable Devices and a Wireless Web-based Network to Extend the Museum Experience », in *Museums and the Web*

2002. Archives & Museum Informatics.

Shaer, O. et Hornecker, E. (2010) *Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions, Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*. Hanover, MA, USA: Now Publishers Inc. doi: 10.1561/11000000026.

Sharlin, E., Watson, B., Kitamura, Y., Kishino, F. et Itoh, Y. (2004) « On tangible user interfaces, humans and spatiality », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer-Verlag, 8(5), p. 338-346. doi: 10.1007/s00779-004-0296-5.

Sheridan, J. G. (2003) « Exploring cube affordance: towards a classification of non-verbal dynamics of physical interfaces for wearable computing », in *IEE Eurowearable '03*. IEE, p. 113-118. doi: 10.1049/ic:20030156.

Shneiderman, B. (1997) « Direct manipulation for comprehensible, predictable and controllable user interfaces », in *Proceedings of the 2nd international conference on Intelligent user interfaces - IUI '97*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 33-39. doi: 10.1145/238218.238281.

Siirtola, H. (2003) « Combining parallel coordinates with the reorderable matrix », in *Proceedings International Conference on Coordinated and Multiple Views in Exploratory Visualization (CMV 2003)*. IEEE, p. 63-74. doi: 10.1109/CMV.2003.1215004.

de Siqueira, A. G., Ullmer, B., Delarosa, M., Branton, C. et Konkel, M. K. (2018) « Hard and Soft Tangibles: Mixing Multi-touch and Tangible Interaction in Scientific Poster Scenarios », in *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction - TEI '18*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 476-486. doi: 10.1145/3173225.3173252.

Spiers, A. J. et Dollar, A. M. (2016) « Outdoor pedestrian navigation assistance with a shape-changing haptic interface and comparison with a vibrotactile device », in *IEEE Haptics Symposium, HAPTICS*. IEEE Computer Society, p. 34-40. doi: 10.1109/HAPTICS.2016.7463152.

Stock, O., Zancanaro, M., Busetta, P., Callaway, C., Krüger, A., Kruppa, M., Kuflik, T., Not, E. et Rocchi, C. (2007) « Adaptive, intelligent presentation of information for the museum visitor in PEACH », *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Kluwer Academic Publishers, 17(3), p. 257-304. doi: 10.1007/s11257-007-9029-6.

Tabard, A. (2009) *Supporting lightweight reflection on familiar information*. Thèse de Doctorat. Paris 11.

Taher, F., Hardy, J., Karnik, A., Weichel, C., Jansen, Y., Hornbæk, K. et Alexander, J. (2015) « Exploring Interactions with Physically Dynamic Bar Charts », in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 3237-3246. doi: 10.1145/2702123.2702604.

Tarun, A., Wang, P., Strohmeier, P., Girouard, A., Reilly, D. et Vertegaal, R. (2013) « PaperTab: tablets as thin and flexible as paper », in *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery (ACM), p. 2881-2882. doi: 10.1145/2468356.2479559.

Tobias, E., Maquil, V. et Latour, T. (2015) « TULIP: A widget-based software framework for tangible tabletop interfaces », in *EICS 2015 - Proceedings of the 2015 ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*. Association for Computing Machinery, Inc, p.

216-221. doi: 10.1145/2774225.2775080.

Tolmie, P., Benford, S., Greenhalgh, C., Rodden, T. et Reeves, S. (2014) « Supporting Group Interactions in Museum Visiting », in *Proceedings of the 17th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing*. New York, NY, USA: ACM (CSCW '14), p. 1049-1059. doi: 10.1145/2531602.2531619.

Ullmer, B., DeLatin, M., Tregre, B., Liu, K., Jandhyala, S., Kooima, R., Branton, C., Parker, R., Dever, Z., Sankaran, R., Toole, C., Freeman, C., Cassady, B., Wiley, C., Diabi, M. et Wallace, A. (2010) « Cartouche: conventions for tangibles bridging diverse interactive systems », in *Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '10*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 93. doi: 10.1145/1709886.1709904.

Ullmer, B. et Ishii, H. (2000) « Emerging frameworks for tangible user interfaces », *IBM Systems Journal*. Addison - Wesley, 39(3.4). doi: 10.1147/sj.393.0915.

Ullmer, B., Ishii, H. et Jacob, R. J. K. (2003) « Tangible query interfaces: Physically constrained tokens for manipulating database queries », in *Proceedings of Human-computer interaction, INTERACT '03: IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction*. Zurich, Switzerland: IOS Press, p. 279-286.

Ullmer, B., Ishii, H. et Jacob, R. J. K. (2005) « Token+constraint systems for tangible interaction with digital information », *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. ACM, 12(1), p. 81-118. doi: 10.1145/1057237.1057242.

Ullmer, B., Sankaran, R., Liu, K., Freeman, C., Wallace, A., DeLatin, M., Washington, C., Reeser, A., Branton, C. W., Parker, R., Dell, C., Gil, C., Toole, C., Wiley, C., Dever, Z., Rogge, L., Bradford, R. et Riviere, G. (2011) « Casier: structures for composing tangibles and complementary interactors for use across diverse systems », in *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction - TEI '11*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 229. doi: 10.1145/1935701.1935746.

Underkoffler, J. et Ishii, H. (1999) « Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design », in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems the CHI is the limit - CHI '99*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 386-393. doi: 10.1145/302979.303114.

Vaart, V. Der et Damala, A. (2015) « Through the Loupe: Visitor engagement with a primarily text-based handheld AR application », in *Digital Heritage*. Granada, Spain: IEEE, p. 565-572. doi: 10.1109/DigitalHeritage.2015.7419574.

Vatavu, R.-D. et Wobbrock, J. O. (2015) « Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies », in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1325-1334. doi: 10.1145/2702123.2702223.

Vayanou, M., Antoniou, A., Loumos, G., Kargas, A. A., Kakaletis, G. et Ioannidis, Y. (2019) « Towards Personalized Group Play in Gallery Environments », in *Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts - CHI PLAY '19 Extended Abstracts*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 739-746. doi: 10.1145/3341215.3356313.

- Vayanou, M., Karvounis, M., Kyriakidi, M., Katifori, A., Manola, N., Roussou, M. et Ioannidis, Y. (2012) « Towards personalized storytelling for museum visits », in *Proc. 6th Intl Workshop on Personalized Access, Profile Management, and Context Awareness in Databases-PersDB*.
- Vayanou, M., Katifori, A., Karvounis, M., Kourtis, V., Kyriakidi, M., Roussou, M., Tsangaris, M., Ioannidis, Y., Balet, O., Prados, T., Keil, J., Engelke, T. et Pujol, L. (2014) « Authoring Personalized Interactive Museum Stories », in Mitchell, A., Fernández-Vara, C., et Thue, D. (éd.) *Interactive Storytelling. ICIDS 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8832*. Cham: Springer International Publishing, p. 37-48. doi: 10.1007/978-3-319-12337-0\_4.
- Wakkary, R. et Hatala, M. (2007) « Situated play in a tangible interface and adaptive audio museum guide », *Personal and Ubiquitous Computing*. Springer-Verlag, 11(3), p. 171-191. doi: 10.1007/s00779-006-0101-8.
- Walsh, D., Clough, P. et Foster, J. (2016) « User categories for digital cultural heritage », in *First International Workshop on Accessing Cultural Heritage at Scale*.
- Wang, Y., Stash, N., Aroyo, L., Gorgels, P., Rutledge, L. et Schreiber, G. (2008) « Recommendations based on semantically enriched museum collections », *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*. Elsevier, 6(4), p. 283-290. doi: 10.1016/J.WEBSEM.2008.09.002.
- Wecker, A. J., Stock, O. et Kuflik, T. (2016) « Dynamic personalization based on mobile behavior: From personality to personalization: A blueprint », in *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct, MobileHCI 2016*. New York, New York, USA: Association for Computing Machinery, Inc, p. 978-983. doi: 10.1145/2957265.2962645.
- Weiser, M. et Brown, J. S. (1997) « The Coming Age of Calm Technology », in *Beyond Calculation*. Springer, New York, NY, p. 75-85. doi: 10.1007/978-1-4612-0685-9\_6.
- Wilson, G., Brewster, S. A., Halvey, M. et Hughes, S. A. (2012) « Thermal Icons: Evaluating structured thermal feedback for mobile interaction », in *MobileHCI'12 - Proceedings of the 14th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 309-312. doi: 10.1145/2371574.2371621.
- Wilson, G., Brewster, S., Halvey, M. et Hughes, S. (2013) « Thermal feedback identification in a mobile environment », in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 10-19. doi: 10.1007/978-3-642-41068-0\_2.
- Winder, J. I. et Larson, K. (2017) « Bits and Bricks. Tangible Interactive Matrix for Real-time Computation and 3D Projection Mapping », in *Future Technologies Conference*. Vancouver, Canada, p. 1113-1116.
- Wobbrock, J. O., Aung, H. H., Rothrock, B. et Myers, B. A. (2005) « Maximizing the guessability of symbolic input », in *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '05*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 1869. doi: 10.1145/1056808.1057043.
- Xing, S. et Luo, Z. (2010) « Toy-inspired human machine interface design », in *2010 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology*. IEEE, p. 90-94. doi: 10.1109/STUDENT.2010.5687000.

Zancanaro, M., Not, E., Petrelli, D., Marshall, M., Dijk, T. van, Risseeuw, M., Dijk, D. van, Venturini, A., Cavada, D. et Kubitz, T. (2015) « Recipes for tangible and embodied visit experiences », in *MW2015: Museums and the Web 2015*. Chicago.

Zigelbaum, J., Horn, M. S., Shaer, O. et Jacob, R. J. K. (2007) « The tangible video editor: collaborative video editing with active tokens », in *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction - TEI '07*. New York, New York, USA: ACM Press, p. 43. doi: 10.1145/1226969.1226978.

Zuckerman, O. et Gal-Oz, A. (2013) « To TUI or not to TUI: Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces », *International Journal of Human-Computer Studies*. Academic Press, 71(7-8), p. 803-820. doi: 10.1016/J.IJHCS.2013.04.003.

## Liste des figures

---

Figure 1 : Triangulation des projets de recherche de la thèse entre observation, conception et théorie (les rectangles avec contour indiquent des contributions personnelles, tandis que les rectangles sans contour correspondent à des travaux issus de la littérature) .....	16
Figure 2 : Écran tactile installé au Musée d'Histoire de Nantes permettant de filtrer les parcours de visite selon un ensemble de caractéristiques. Photos Musée d'Histoire de Nantes, extraites de <a href="http://www.club-innovation-culture.fr/application-multitouch-chateau-nantes-personnalisation-visite/">http://www.club-innovation-culture.fr/application-multitouch-chateau-nantes-personnalisation-visite/</a> .....	22
Figure 3 : Tables tactiles à l'entrée du Palais des Beaux-Arts de Lille permettant de parcourir les collections, choisir une visite ou la composer soi-même (source PBA Lille). Ce parcours peut être récupéré sur l'application mobile correspondante (image de droite, source PBA Lille). .....	23
Figure 4 : Le projet CHESS. À gauche le questionnaire pour les enfants (extrait de Roussou & Katifori, 2018). À droite l'outil d'édition pour les professionnels (extrait de Vayanou et al. 2014). .....	27
Figure 5 : le projet meSch au Museon (La Hague, Pays-Bas), à gauche les artefacts tangibles et à droite une station interactive activée avec le « brassard du fonctionnaire ». Images extraites de (Petrelli et O'Brien, 2018).....	28
Figure 6 : Projet meSch, l'outil d'édition pour les professionnels des musées. À gauche l'onglet « recette », à droite l'onglet des contenu annotés. (Images extraites de Not et Petrelli, 2019). .....	29
Figure 7 : Grasp Draw et Active Desk mettant en œuvre le concept de « graspable interface » (image extraite de Fitzmaurice, Ishii and Buxton, 1995), transBOARD un tableau blanc augmenté avec des hyperCARDS (image extraite de Ishii and Ullmer, 1997), CLAVIER, un clavier musical et lumineux installé le long d'un chemin (image extraite de Hornecker and Buur, 2006).....	31
Figure 8 : Rapport entre les facteurs bénéfiques et les effets des interfaces saisissables pour la collaboration. Illustration extraite de (Hornecker, 2002) .....	33
Figure 9 : Illustration des approches « surfaces interactives », « token+constraint » et « constructions par assemblage », tirée de (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).....	35
Figure 10 : Phases d'association et de manipulation de <i>token+constraint</i> (illustration extraite de Ullmer, Ishii et Jacob, 2005).....	35
Figure 11 : Le continuum interaction-attention: les différents niveaux d'interaction (explicite, périphérique et implicite) sont classés selon le niveau d'attention nécessaire, la précision et l'intentionnalité du contrôle. Illustration extraite de (Bakker et Niemantsverdriet, 2016). .....	37
Figure 12 : Gauche) Interface de programmation tangible (Horn <i>et al.</i> , 2009). Centre) Gestes épistémiques et de collaboration avec les interacteurs tangibles (Ma <i>et al.</i> , 2015). Droit) Interacteur tangible de BacPack (Loparev <i>et al.</i> , 2017). Les images sont tirées des articles cités.....	38
Figure 13 : Gauche) Roue tangible au Musée de l'Homme, l'action physique permet de comprendre les échelles de temps dans l'évolution (photographie Nadine Couture). Droit) BatSim au musée Tudor (illustration Maquil, Moll et Martins, 2017). .....	39
Figure 14 : Présentation des travaux du chapitre 3 selon le modèle de triangulation de Mackay et Fayard (1997).....	46
Figure 15 : Observation de l'exercice de création de parcours multicritères, à gauche au musée Saint-Raymond et à droite à la Cité du Vin (les participants ont donné leur accord pour l'usage des photographies).....	51
Figure 16 : Diagramme de tâches déduit de l'observation des deux exercices prospectifs. ....	52
Figure 17 : Stratégie de constitution des profils au musée Saint-Raymond, parcours de l'arbre des possibles en profondeur de haut en bas puis de gauche à droite. ....	53
Figure 18 : Stratégie de constitution des profils à la Cité du Vin, parcours de l'arbre des possibles en largeur de gauche à droite puis de haut en bas. ....	53

Figure 19 : Parcours de visite créés au musée Saint-Raymond lors de l'exercice d'observation, reportés sur la grille d'analyse par l'observateur pendant l'exercice. Les profils de Lvasseur et Veron (1983) ont été proposés mais R1 n'a pas pu les utiliser car trop liés à des modes de parcours libres. Les cellules grisées correspondent à des profils exclus par R1 avant l'exercice.....	54
Figure 20 : Tableur Excel créé par les utilisatrices lors de l'exercice d'observation présentant les parcours de visite créés à la Cité du Vin. Les profils de Lvasseur et Veron n'ont pas été pris en compte, et seule la motivation « expérimenter » a été traitée. Les cellules grisées correspondent à des profils impossibles (ou au <i>parcours de base</i> , cf. page 50).....	54
Figure 21 : Quatre scénarios de création des parcours de visite personnalisés incarnant 1) les contraintes des visiteurs, 2) les œuvres, 3) la topographie du musée, 4) les liens entre les œuvres.....	58
Figure 22 : Deux prototypes basse-fidélité pour la création des parcours de visite, basés sur la Cité du Vin.....	59
Figure 23 : Maquette de l'interface pour la création de parcours de visite personnalisés.....	60
Figure 24 : Gauche) Parallel Coordinates (source : Wikipedia Common), Droite) ScatterDice (image extraite de Elmqvist, Dragicevic et Fekete, 2008).....	63
Figure 25 : Utilisation de représentations classiques pour afficher les caractéristiques visiteur :C) Diagramme alluvial ou coordonnées parallèles, K) Diagramme radar, L) Arbre hyperbolique. ....	64
Figure 26: Représentation du produit cartésien A x B des ensembles A = {x, y, z} et B = {1, 2, 3}. Source Wikimedia Commons, Quartl, CC BY-SA 3.0.....	64
Figure 27 : visualisation de l'espace de conception multidimensionnel. L1, L2, L3 correspondent aux entêtes de ligne (avec ici comme valeurs L1 = Age, L2 = Expertise et L3 = Nombre) et C1, C2, C3 aux entêtes de colonne (avec respectivement C1 = Motivation, C2 = Situation de handicap et C3 = Durée). ....	65
Figure 28 : Espace d'exploration de solutions pour la manipulation de la structure de l'espace multidimensionnel organisé selon deux axes : stratégie de manipulation et type d'interaction. ....	68
Figure 29 : Analogie graphique entre la grille et la face d'un Rubik's Cube. ....	69
Figure 30 : Exemple d'utilisation de la solution « Rubik's Cube ». ....	69
Figure 31 : Sélection des profils à traiter sur la grille multidimensionnelle pour la solution « Billes ». ...	70
Figure 32: Illustration de la solution « Drag & Drop de caractéristiques ».....	70
Figure 33 : Utilisation de l'espace d'exploration pour faire émerger les questions de conception.....	71
Figure 34 : Application de création de parcours de visite personnalisés répartie sur plusieurs dispositifs : création du parcours sur un écran tactile (en bleu) et sélection du profil visiteur sur une GUI ou une TUI (en rouge). ....	73
Figure 35 : Le concept d'interface MuseoX : un plateau séparé en deux zones (sélection et stockage) et six colonnes correspondant aux six caractéristiques visiteur, et un jeton pour chaque valeur possible. ....	74
Figure 36 : Exemple de visualisation de la complétude. État initial du plateau après la déclaration des profils non pertinents (en grisé sur la grille). En haut la visualisation multidimensionnelle, en bas le plateau de choix de profils. ....	75
Figure 37 : Exemple de calcul de la complétude dans le cas du musée Saint-Raymond, sélection du profil « 7 à 12 ans » et mise à jour des taux de complétude des éléments de la zone de stockage pour refléter ce choix.....	76
Figure 38 : Réponses de deux participants pour l'étude d'élicitation pour le choix des pictogrammes. ....	79
Figure 39 : Pictogrammes dessinés en vectoriel à la suite de l'étude d'élicitation.....	80
Figure 40 : Figurines en plexiglass incarnant les valeurs des caractéristiques visiteur dans MuseoTUI. Chaque figurine a un socle de forme différente selon la caractéristique correspondante. ....	81
Figure 41 : Boîtiers 3D accueillant le lecteur RFID et les LED afin de détecter et illuminer les figurines de MuseoTUI.....	82

Figure 42 : Montage du plateau de MuseoTUI. Gauche) boîtiers contenant LED et RFID vissés dans le niveau inférieur. Milieu) Cales en medium et contre-formes placées dans les boîtiers. Droite) Niveau supérieur fixé sur le dessus des boîtiers, avec les figurines positionnées dans les contre-formes de la zone de stockage.....	82
Figure 43 : Ensemble de l'électronique (Arduino, RFID, LED, Raspberry Pi) avant rangement dans le plateau de MuseoTUI.....	83
Figure 44 : les différents niveaux lumineux et colorés du taux de complétude des figurines de MuseoTUI. ....	83
Figure 45 : Boutons de création de parcours et de déclaration d'un profil impossible. À droite le prototype complet pendant l'expérimentation, les boutons pouvaient être placés à droite ou à gauche selon le choix de l'utilisateur.....	84
Figure 46 : MuseoGUI, une application tactile d'aide au choix de profils visiteur permettant de visualiser l'avancement de la tâche de création de parcours de visite personnalisés. ....	87
Figure 47 : Les différents niveaux colorés du taux de complétude des jetons de MuseoGUI. ....	87
Figure 48 : légende pour les niveaux de complétude, à gauche MuseoGUI et à droite MuseoTUI. ....	88
Figure 49 : Résultats du questionnaire UEQ pour MuseoGUI (en haut) et MuseoTUI (en bas).....	93
Figure 50 : Comparaison des valeurs moyennes du UEQ pour MuseoGUI (en bleu) et MuseoTUI (en rouge). * $p < 0,05$ . Les graphiques ont été générés grâce aux outils fournis par <a href="https://www.ueq-online.org/">https://www.ueq-online.org/</a> .....	94
Figure 51 : Actions épistémiques de pointage pendant l'expérimentation de MuseoTUI.....	96
Figure 52 : Présentation des travaux du chapitre 4 selon le modèle de triangulation de Mackay et Fayard (1997).....	103
Figure 53 : Extraits des cinq storyboards issus du premier brainstorming. St1) Figurines, St2) Train, St3) Mains, St4) Totem, St5) Cadran. Extrait de (Mauriéras, 2018).....	111
Figure 54 : Storyboard final pour la solution totem de personnalisation. Extrait de (Mauriéras, 2018).115	115
Figure 55: Prototype basse-fidélité du « Totem de personnalisation ». Extrait de (Mauriéras, 2018). ...	115
Figure 56 : Les deux groupes de participants pendant le brainstorming au musée Saint-Raymond.....	117
Figure 57 : Les six prototypes basse-fidélité produits durant la séance de brainstorming : a) Colonne mobile b) Hercule c) Jeux de plateau d) Monsieur Raymond e) Test de personnalité f) MuseoBox..	118
Figure 58 : Storyboards des solutions <i>Colonne</i> et <i>Hercule</i> . Extrait de (Fatmi <i>et al.</i> , 2019). Voir en plus grand en Annexe 4C.....	120
Figure 59 : Prototypes moyenne-fidélité des solutions <i>Hercule</i> et <i>Colonne</i> . Extrait de (Fatmi <i>et al.</i> , 2019). ....	120
Figure 60 : Taux de préférence pour les prototypes Hercule et Colonne. Extrait de (Fatmi <i>et al.</i> , 2019). ....	121
Figure 61 : Le prototype haute-fidélité <i>Build Your Own Hercules</i> permettant aux visiteurs de choisir les caractéristiques de visite qui leurs correspondent en plaçant les pièces correspondantes sur Hercule .....	122
Figure 62 : Réalisation de <i>BYO Hercules</i> : a) dos d'Hercule, b) schéma de câblage électronique, c) architecture matérielle. Extrait de (Fatmi <i>et al.</i> , 2019).....	123
Figure 63 : L'interface sur l'écran tactile de <i>BYO Hercules</i> : a) écran d'accueil, b) proposition de trois parcours, c) description d'un parcours et d) écran de maintenance accessible au personnel du musée. ....	124
Figure 64 : Sur <i>BYO Hercules</i> , chaque zone creuse est une <i>constraint</i> pouvant accueillir plusieurs <i>tokens</i> , selon le paradigme <i>token+constraint</i> de Ullmer, Ishii et Jacob (2005). ....	124
Figure 65 : En arrivant au Musée Saint-Raymond, les visiteurs (adulte seul, enfant ou groupe) choisissent leurs caractéristiques de personnalisation grâce à <i>Build Your Own Hercules</i> . ....	125



Figure 66 : Contexte de mise en place de l'observation dans le hall d'entrée du musée Saint-Raymond .....	126
Figure 67 : Travaux technologiques et génériques T+C : a) une librairie pour créer des jeux mathématiques pour les enfants (Scarlatos, 2006), b) ToyVision une toolkit pour prototyper des jeux sur table tactile (Marco, Cerezo et Baldassarri, 2012), c) TULIP une toolkit pour l'utilisation d'objets tangibles sur table tactile (Tobias, Maquil et Latour, 2015), d) GaussMarbles une bille magnétique pour des interactions sur tablette (Kuo et al., 2016), e) Bits & Bricks, une matrice tangible interactive basée sur des LEGO™ et de la projection 3D (Winder et Larson, 2017), f) RFIBricks, un système d'assemblage de blocs basé sur le RFID (Hsieh et al., 2018), g) Cartouche, des composants tangibles reprenant le principe de menu tangible (Ullmer et al., 2010), h) Casier, des composants proposant plusieurs <i>constraints</i> à positionner sur des surfaces tactiles (Ullmer et al., 2011), i) hard et soft tokens (de Siqueira et al., 2018), j) Kickables, composants pour interagir avec les pieds (Schmidt et al., 2014). .....	135
Figure 68 : Travaux professionnels et éducatifs T+C : a) e-commerce pour les mariés (Maass et Kowatsch, 2009), b) édition vidéo (Zigelbaum et al., 2007), c) interactions riches pour le paiement par carte bleue (Van Campenhout et al., 2019), d) surveillance de systèmes (Jaffe, Dayan et Dekel, 2007), e) programmation d'un robot (Sapounidis, Demetriadis et Stamelos, 2015), f) PrimBox permet l'apprentissage de la géométrie 3D (Guerrero et al., 2016), g) jeux sérieux avec cubes Sifteo comme <i>tokens</i> (Mora, Di Loreto et Divitini, 2015), h) apprentissage de la musique, les <i>tokens</i> de la première colonne sont les instruments et les autres les notes (Francesconi, Larrea et Manresa-Yee, 2013). .....	136
Figure 69 : Travaux pour un usage grand public de T+C : a) Tokens of search permet de partager des URL (Lee et al., 2014), b) Bowl permet de jouer des vidéos (Martinussen, Knutsen et Arnall, 2007), c) un lecteur de musique selon l'humeur du moment (Sellitsch et Tellioglu, 2014), d) enregistrement de souvenirs dans des pierres (Mosher, 2017), e) MeloKey, jouer de la musique avec des clés (Guo, 2016), f) une interface permettant aux enfants de choisir des livres dans une bibliothèque (Detken, Martinez et Schrader, 2009).....	136
Figure 70 : Illustration des deux phase d'association et de manipulation de T+C. Source : (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005) .....	141
Figure 71 : Le prototype MuseoTUI .....	146
Figure 72 : Le prototype Build Your Own Hercules .....	147
Figure 73 : Le prototype PrimBox, image extraite de (Guerrero et al., 2016).....	148
Figure 74 : Le prototype Tokens of Search, image extraite de (Lee et al., 2014). .....	149
Figure 75 : Répartition des besoins du guide de visite sur le continuum interaction-attention de Bakker et al. (2016).....	158
Figure 76 : Le Bourdon de Visite : interactions explicites, périphériques et implicites pour suivre le parcours dans le musée. ....	159
Figure 77 : Brochures de l'aquarium de Biarritz (avec flèches indiquant « suite du parcours ») et du musée des Augustins à Toulouse. À droite, la carte du Maraudeur de Harry Potter™ (Wikimedia Commons, CC by 3.0, auteur : KRLS).....	161
Figure 78 : Storyboard d'utilisation de la Brochure du Maraudeur : a) Les visiteurs consultent le parcours personnalisé sur la Brochure dépliée, b) ils peuvent suivre l'itinéraire sur la carte ou en tournant du côté où elle se tord, c) une fois pliée la carte continue de bouger dans la main pour indiquer les directions, si elle est placée dans la poche le guidage est mis en pause, d) le visiteur peut mémoriser un expôt d'intérêt, e) le visiteur peut voir la position de ses compagnons sur la Brochure. ....	162
Figure 79 : Inspirations technologiques pour la Brochure du Maraudeur : a) PaperTab, un écran à encre électronique qui détecte les torsions. b) PaperFold, une interface composée d'écrans pliables. c) Unimorph, une interface à changement de forme contrôlée par la température. D) Aeromorph une structure en origami gonflable à changement de forme. (Sources : Human Media Lab, libre de droits et MIT Media Lab Tangible Media Group, CC BY-NC-ND 3.0).....	162

Figure 80 : Plateforme d'expérimentation pour le guidage des visiteurs. À gauche la modélisation 3D : en bleu l'écran tactile de la tablette, en rouge le boîtier 3D et en rose une partie flexible et mobile imprimée en 3D. À droite un zoom sur le prototype réel montrant l'actuateur permettant de faire bouger la partie mobile. ....163

Figure 81 : Les différents composants de la plateforme d'expérimentation en entrée et en sortie.....164

Figure 82 : Câblage de la carte de contrôle (Raspberry Pi 3 et Arduino Nano) de la plateforme d'expérimentation. ....164

Figure 83 : Application de création de parcours personnalisés répartie sur plusieurs dispositifs : création du parcours sur un écran tactile et sélection du profil des visiteurs sur une interface tactile ou tangible. ....179

Figure 84 : Suite d'outils pour la personnalisation des parcours de visite. Illustrations personnages par macrovector, carte au trésor par flaticon (Freepik) .....183

## Liste des tables

---

Table 1 : Liste des participants pour les entretiens semi-dirigés (E) et les observations (O).....	47
Table 2 : Caractéristiques d'adaptation des visites selon les professionnels du service des publics interrogés.....	49
Table 3 : Caractéristiques de personnalisation consolidées avec les participantes à l'exercice de création de parcours multicritères et valeurs choisies pour chaque musée.....	51
Table 4 : Liste des caractéristiques visiteur pour la personnalisation des parcours de visite, et exemples de valeurs « génériques » pour chacune. ....	56
Table 5 : Liste des participants pour les entretiens semi-structurés (E) et les observations (O) (Table 1) mise à jour avec ceux ayant participé à l'évaluation utilisateur (U).....	89
Table 6 : Répartition des conditions de l'expérimentation selon les variables (le groupe GA passe le questionnaire A sur MuseoGUI en premier, le groupe TB passe le questionnaire B sur MuseoTUI en premier). ....	91
Table 7 : Tableau comparatif des valeurs moyennes des différentes échelles UEQ pour MuseoGUI et MuseoTUI.....	93
Table 8 : Résultat des T-Test pour les différences entre MuseoTUI et MuseoGUI selon les échelles UEQ. ....	93
Table 9 : Caractéristiques de personnalisation de la visite selon les médiateurs et selon les visiteurs..	106
Table 10 : Caractéristiques de personnalisation et valeurs proposées.....	109
Table 11 : Croisement des préconisations et des storyboards. « + » : conformité totale (1 pt), « +- » : conformité partielle (0 pt), « - » : non conforme (-1 pt). ....	112
Table 12 : Évaluation des scénarios « totem » et « train » par rapport aux critères du tangible définis par Hornecker. « + » : conformité totale (1 pt), « +- » : conformité partielle (0 pt), « - » : non conforme (-1 pt).....	113
Table 13 : Croisement des préconisations et des prototypes issus du brainstorming.« + » : conformité totale (1 point), « +- » : conformité partielle (0 pt), « - » : non conforme (-1 pt).....	119
Table 14 : Classification des 25 travaux citant le travail séminaire T+C (Ullmer, Ishii et Jacob, 2005). <i>Type citation</i> reprend la classification de Girouard et al. (2019). <i>Domaine</i> correspond au domaine d'application. <i>Utilisateurs</i> indique les utilisateurs cibles. <i>Nb</i> indique si le système est multi/mono/dual-utilisateurs. <i>Test</i> indique si des tests ont eu lieu en laboratoire (L) ou en conditions réelles (R) avec au moins une contrainte tangible et pour combien d'utilisateurs en même temps. <i>Technologie</i> indique la technologie utilisée pour la détection des tokens. <i>Autonome/Intégré</i> indique si le système T+C est intégré dans un autre dispositif technique. <i>Type de données</i> indique s'il s'agit de données géométriques/spatiales ou abstraites. <i>A/M</i> indique si le prototype utilise la phase d'association seule (A) ou avec la phase de manipulation (AM). <i>NbC</i> indique le nombre de contraintes (n = plusieurs, NxT = nombre par token).....	138
Table 15 : Propriétés de composition générale des interfaces T+C.....	141
Table 16 : Propriété des interactions des interfaces T+C.....	142
Table 17 : Propriétés d'implémentation des interfaces T+C.....	142
Table 18 : Propriétés d'usage nécessitant une validation expérimentale.....	142
Table 19 : Propriétés ayant trait à la syntaxe numérique T+C.....	142
Table 20 : Application de la grille heuristique T+C à quatre cas d'usage : MuseoTUI, Build Your Own Hercules, Primbox et Tokens of Search. √ indique oui et χ rouge indique non.....	145
Table 21 : Consolidation des caractéristiques pour la personnalisation multicritère à partir des entretiens avec les médiateurs et les visiteurs.....	173