

École doctorale n° 432 : Sciences et métiers de l'ingénieur

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité “ génie industriel ”

présentée et soutenue publiquement par

Estelle COSTES

le 23 février 2012

**Prise en compte de la perception tactile dans
la conception de représentations d'œuvres d'art pour
les personnes en situation de handicap visuel**

Directeur de thèse : **Améziane AOUSSAT**
Co-encadrement de la thèse : **Jean-François BASSEREAU**

Jury

M. Philippe VÉRON, Professeur, LSIS, Arts et Métiers ParisTech
Mme Brigitte BORJA DE MOZOTA, Maître de Conférences HDR, CRICC, Université Paris 1
M. Jean-François BOJUT, Professeur, G-SCOP, INP de Grenoble
Mme Yvette HATWELL, Professeur honoraire, LPNC, Université Pierre Mendès France de Grenoble
M. Améziane AOUSSAT, Professeur, LCPI, Arts et Métiers ParisTech
M. Jean-François BASSEREAU, Chargé de recherche, SMS, École des Mines de Saint-Étienne

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur

Arts et Métiers ParisTech - Centre de Paris
Laboratoire conception de produits et innovation

**T
H
È
S
E**

Membres du jury, présents le 23 février 2012 :

M. Philippe VÉRON, Professeur, LSIS, Arts et Métiers ParisTech

Mme Brigitte BORJA DE MOZOTA, Maître de Conférences HDR, CRICC, Université Paris 1

M. Jean-François BOJUT, Professeur, G-SCOP, INP de Grenoble

Mme Yvette HATWELL, Professeur honoraire, LPNC, Université Pierre Mendès France de Grenoble

M. Améziane AOUSSAT, Professeur, LCPI, Arts et Métiers ParisTech

M. Jean-François BASSEREAU, Chargé de recherche, SMS, École des Mines de Saint-Étienne

M. Alain Mikli, Fondateur et Directeur Général du groupe Alain Mikli International

M. Richard Chêne, Chef de projet R&D, R&D Industries pour Alain Mikli International

Président

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

Invité

Invité

Remerciements (texte lu le 23 février)

Je remercie vivement Mme Borja de Mozota et M. Boujut d'avoir expertisé mon mémoire de thèse. Merci pour vos remarques constructives qui m'ont été utiles aujourd'hui et le seront pour les travaux de recherche à venir.

Merci à M. Véron et à Mme Hatwell d'avoir accepté d'être les examinateurs de mon travail de recherche. Mme Hatwell, je suis honorée de votre présence parmi nous aujourd'hui.

Merci au professeur Améziane Aoussat d'avoir encadré mes travaux de recherche. Un merci tout particulier pour vos conseils avisés dans cette dernière ligne droite !

Merci à Jean-François Bassereau d'avoir été si disponible pendant ces quatre années de travail de recherche et de m'avoir accompagnée dans les démarches entreprises avec le groupe Alain Mikli International au sein duquel je souhaitais réaliser ce travail.

Merci à Olivier et à vous, Alain Mikli, de m'avoir fait confiance pour mener ce projet « made in passion » au sein du groupe.

Merci, Richard, de me permettre de partager, en thèse déjà et encore aujourd'hui, votre expertise.

Je tiens à remercier mes collègues de travail, présents aujourd'hui, pour l'intérêt qu'ils portent à mon travail et à leur exprimer toute ma sympathie.

Je remercie les personnes qui ont participé à mes entretiens... Merci de m'avoir permis de partager votre expérience. Un merci tout particulier à Julien et Stéphanie qui m'ont aidée à construire les protocoles de ces entretiens.

Merci, *thank you, mulțumesc, gracias, danke schön* aux doctorantes, doctorants et récents docteurs du LCPI pour leurs discussions sérieuses en groupe de travail de thèse et les soirées, quant à elles, moins sérieuses ! Un merci particulier à mes deux coachs personnelles : Anne et Nathalie. Merci, les filles !

Merci aux enseignants-chercheurs pour leur écoute et leur disponibilité en groupes de travail de thèse et dans le cadre des rendez-vous en tête à tête qui m'ont aidée à avancer.

Merci au Centre francilien de l'innovation de nous avoir accordé un financement pour la mise au point du process de conception et de fabrication.

Merci à Nicolas Hueber : notre binôme « ingénieur-designer » a atteint l'objectif fixé. Je souhaite que notre collaboration se poursuive encore longtemps.

Merci à Éric Pascalis pour sa patience et ses conseils en maquettage. Je garde un très bon souvenir de nos longues heures de découpages-collages pour le Centre

Georges-Pompidou.

Je remercie les musées qui m'ont ouvert leurs portes au début de mes travaux de recherche : merci à Marie, merci à Delphine.

Par l'intermédiaire de Malvina, je tiens à remercier le musée du quai Branly de nous avoir fait confiance par rapport à la mise en œuvre de notre procédé qui était encore expérimental.

Merci à ma famille de m'avoir soutenue dans mes choix d'orientation.

Enfin, merci à toi, Seb, qui m'a soutenue de manière inconditionnelle dans les moments de joies et de doutes.

Afin de profiter de chacun d'entre vous, je vous invite à discuter ensemble autour d'un verre...

« [...] Quelqu'un de nous s'avisa de demander à notre aveugle s'il serait content d'avoir des yeux :

Si la curiosité ne me dominait pas, dit-il, j'aimerais bien autant avoir de longs bras : il me semble que mes mains m'instruiraient mieux de ce qui se passe dans la lune que vos yeux ou vos télescopes ; et puis les yeux cessent plus tôt de voir que les mains de toucher. Il vaudrait donc bien autant qu'on perfectionnât en moi l'organe que j'ai, que de m'accorder celui qui me manque. »

Extrait de *Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient*,

Denis Diderot

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements (texte lu le 23 février)	5
INTRODUCTION GÉNÉRALE	13
Objectif et problématique de recherche	14
Originalité de la thèse	15
Apports de la thèse	16
Structure du document	17
1. POSITIONNEMENT ET ENJEUX	21
Introduction	22
1.1. Positionnement industriel de la recherche	23
1.1.1. La création de lunettes innovantes et originales	23
1.1.2. L'engagement d'Alain Mikli en faveur de l'autonomie des personnes en situation de handicap visuel, entre 1992 et 2008	25
1.1.3. La fabrication des expositions itinérantes « Regards tactiles » de 2001 à 2010	26
1.2. Positionnement scientifique de la recherche	27
1.2.1. Positionnement au sein du LCPI, laboratoire en génie industriel	27
1.2.2. Positionnement au sein du processus de conception	29
1.2.3. Positionnement international de la recherche	34
1.2.4. Positionnement métier : le design industriel	37
1.3. Enjeux de la recherche	40
1.3.1. Enjeu industriel : la demande du groupe Alain Mikli International	40
1.3.2. Enjeu sociétal : l'évolution démographique mondiale	41
1.3.3. Enjeu social : rendre accessible les lieux culturels	42
Synthèse / conclusions sur le positionnement et les enjeux	45
2. ÉTAT DE L'ART : LES UTILISATEURS AVEUGLES ET AMBLYOPES DANS LA CONCEPTION DE PRODUITS TACTILES	47
Introduction	48
2.1. Concevoir un produit pour les personnes en situation de handicap visuel	50
2.1.1. La conception universelle	50
2.1.1.1. Universal Design à l'Université de Caroline du Nord	52
2.1.1.2. Inclusive Design à l'Université de Cambridge	55
2.1.2. Les représentations intermédiaires dans l'activité de conception	59
2.1.3. Limites de ces données théoriques dans notre périmètre de recherche ...	63
2.2. La perception des utilisateurs aveugles et amblyopes dans la conception de supports tactiles	64
2.2.1. La localisation et l'identification des objets	65
2.2.2. L'estimation dimensionnelle des objets	67
2.2.3. L'identification tactile des représentations en relief	69
2.2.4. Limites de ces données théoriques dans notre périmètre de recherche ...	71
2.3. État de l'art des supports audio et/ou tactiles conçus pour les personnes aveugles et amblyopes	72
2.3.1. L'accès aux documents écrits : le braille	72
2.3.2. L'accès aux images : état de l'art des représentations visuelles et tactiles pour amblyopes et aveugles	75
2.3.2.1. Les recommandations et les normes publiées pour les amblyopes	75
2.3.2.2. Les propositions de représentations en relief pour les aveugles	76
2.3.2.3. Rendre les musées accessibles au public déficient visuel : les visites proposées	78
2.3.3. État de l'art des procédés de fabrication de documents en relief	80

2.3.4. Limites de cet état de l'art	81
2.4. Résumé des constats.....	82
2.4.1. Constats liés à la démarche de conception	82
2.4.2. Constats liés à la perception tactile des utilisateurs	82
2.4.3. Constats liés aux produits conçus	83
Synthèse / conclusions sur l'état de l'art.....	84
3. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE	85
Introduction.....	86
3.1. Problématique : comment concevoir des représentations tactiles pour les personnes en situation de handicap visuel.....	87
3.2. Hypothèses de recherche.....	88
3.2.1. Hypothèse 1 : mettre en place une démarche expérimentale.....	88
3.2.1.1. Étape 1 : transférer des connaissances.....	89
3.2.1.2. Étape 2 : concevoir des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile »	91
3.2.1.3. Étape 3 : planifier deux cycles itératifs pour concevoir	92
3.2.2. Hypothèse 2 : formuler des concepts pour concevoir	93
3.2.2.1. Sous-hypothèse 2.1 : représenter de manière égocentrée le format réel de l'œuvre	94
3.2.2.2. Sous-hypothèse 2.2 : introduire des contrastes tactiles	95
Synthèse / conclusions sur la problématique et les hypothèses.....	97
4. EXPÉRIMENTATIONS.....	99
Introduction.....	100
4.1. Expérimentations 1 et 2	101
4.1.1. Contexte des deux premières expérimentations : le Centre Georges-Pompidou	101
4.1.2. Premier cycle itératif : expérimentation 1	102
4.1.2.1. Objectifs	102
4.1.2.2. Protocole.....	103
4.1.2.3. Résultats	107
4.1.2.4. Conclusions de cette expérimentation	109
4.1.3. Deuxième cycle itératif : expérimentation 2	111
4.1.3.1. Objectifs	111
4.1.3.2. Protocole.....	112
4.1.3.3. Résultats	114
4.1.3.4. Conclusions de cette expérimentation	118
4.1.4. Deux cycles itératifs : synthèse des expérimentations 1 et 2	119
4.1.4.1. Conclusions liées à la méthodologie de conception	119
4.1.4.2. Conclusions liées au produit.....	121
4.2. Expérimentations 3 et 4	121
4.2.1. Contexte des deux dernières expérimentations : <i>La Terre vue du ciel</i> de Yann Arthus-Bertrand.....	121
4.2.2. Premier cycle itératif : expérimentation 3	122
4.2.2.1. Objectifs	122
4.2.2.2. Protocole.....	124
4.2.2.3. Résultats	126
4.2.2.4. Conclusions de cette expérimentation	129
4.2.3. Deuxième cycle itératif : expérimentation 4	130
4.2.3.1. Objectifs	130
4.2.3.2. Protocole.....	131
4.2.3.3. Résultats	134
4.2.3.4. Conclusions de cette expérimentation	137
4.2.4. Deux cycles itératifs : synthèse des expérimentations 3 et 4	138
4.2.4.1. Conclusions liées à la méthodologie de conception	138

4.2.4.2. Conclusions liées au produit.....	139
4.3. Discussion autour des apports expérimentaux.....	140
4.3.1. Objectifs et apports des quatre expérimentations	140
4.3.2. La validation des hypothèses au terme des expérimentations	141
4.3.3. Propositions d'évolution de notre approche expérimentale.....	141
Synthèse / conclusions sur les expérimentations.....	143
5. APPORTS DE THÈSE.....	145
Introduction.....	146
5.1. Vers une formalisation du processus de conception : proposition d'une démarche pour les concepteurs	147
5.1.1. Présentation de la démarche.....	147
5.1.2. Mise en œuvre de la démarche au musée du quai Branly	149
5.2. Proposition de concepts issus de l'application de cette démarche	151
5.2.1. Représenter de manière égocentrée le format réel de l'œuvre	151
5.2.2. Introduire des contrastes tactiles dans la représentation tactile.....	152
5.2.3. Mise en œuvre des concepts au musée du quai Branly	153
5.3. Transfert de technologie : de l'usinage à l'impression 3D de représentations tactiles	154
Synthèse / conclusions sur les apports de thèse.....	158
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	159
Les apports	160
Les perspectives de recherche	162
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	165
ANNEXES	185

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Objectif et problématique de recherche

En lisant cet article, vous faites appel à la vue, une modalité sensorielle qui permet de percevoir quasi simultanément tous les éléments qui composent notre environnement **[Foulke 1982 ; Millar 1979]**, car la perception de l'espace est allocentrée ¹ pour les voyants **[Hatwell 2003]**. Par exemple, vous percevez rapidement et quasi simultanément les dimensions de cette page, sa composition, sa couleur, sa typographie, etc.

La vision fait partie des cinq modalités sensorielles dont l'être humain dispose avec l'audition, l'olfaction, le goût et le toucher. Or, dans nos sociétés, de nombreuses informations sont véhiculées par la vision **[Thinus-Blanc, Gaunet 1997]**. En effet, les informations sont souvent graphiques c'est-à-dire écrites, colorées et/ou dessinées. Qu'en est-il des personnes en situation de handicap sensoriel ? Les personnes aveugles et amblyopes ² ont-elles accès aux informations visuelles ? Bien qu'elles aient accès à la culture écrite grâce au braille, qui est un système universel à six ou huit points **[Jiménez et al. 2009]**, qu'en est-il des images, notamment de l'art photographique et pictural ?

En France, les visiteurs aveugles et amblyopes ont de plus en plus accès aux musées en raison de la loi du 11 février 2005 qui rend obligatoire l'accès des personnes en situation de handicap aux établissements recevant du public (les ERP) incluant les lieux culturels. Même si les offres de médiation sont de plus en plus nombreuses, le contenu des espaces d'exposition, c'est-à-dire les supports muséaux, et l'aménagement des espaces ne sont pas homogènes. En effet, n'étant pas normalisées, les offres sont différentes d'un musée à l'autre.

À partir de ces constats, l'objectif de notre recherche est de formaliser la conception de représentations tactiles qui composent ces offres de médiation. Nous proposons de formaliser, du point de vue du concepteur, la démarche de conception qui permet de produire ce type de représentations. Du point de vue de l'utilisateur, nous proposons l'application de deux concepts relatifs aux aspects tactiles des représentations.

1. La représentation de l'espace « *allocentrée* » consiste à situer, par exemple, un objet par rapport à un autre indépendamment de la position statique et/ou dynamique de l'individu qui explore l'espace : il s'agit d'un système de référence basé sur des repères extérieurs **[Hatwell 2003]**.

2. D'après la dixième révision de la Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes (CIM-10), les personnes amblyopes ont une acuité visuelle, après correction, comprise entre 3/10 et 1/20 ou un champ visuel compris entre 10° et 20° et les personnes aveugles ont une acuité visuelle inférieure à 1/20 ou bien un champ visuel inférieur à 10°.

Notre état de l'art montre que la conception universelle n'est pas une approche adéquate compte tenu du peu de connaissances dont nous disposons sur les utilisateurs ; il révèle aussi que les représentations tactiles d'œuvres d'art précisément ne sont pas normalisées. L'objectif de nos travaux et donc de préciser ces deux manques de connaissances identifiés qui caractérisent la problématique.

La conception de telles représentations artistiques d'œuvres d'art est étroitement liée à leurs usagers principaux, c'est-à-dire aux visiteurs en situation de handicap visuel. L'étude de la perception tactile du point de vue théorique est donc nécessaire (> cf. [partie 2.2](#)), ce qui place le démarrage de notre travail de recherche dans les phases amont du processus de conception puisqu'il faut analyser au préalable les besoins des personnes en situation de handicap visuel.

Pour apporter les connaissances manquantes, nous organisons des entretiens avec des sujets aveugles et amblyopes. Ces entretiens sont décrits dans notre document sous la forme de quatre expérimentations. Elles nous permettent de formaliser les étapes de conception de notre démarche expérimentale. Ainsi, deux cycles itératifs de conception sont nécessaires (> cf. [étape 3 de l'hypothèse 1, partie 3.2.1.3](#)) au cours desquels nous matérialisons les données théoriques par la conception de représentations intermédiaires physiques. Elles ont pour rôle de valider ou d'invalidier avec des personnes aveugles et amblyopes des sous-hypothèses de représentations et d'aboutir à la formulation de deux concepts. L'un propose de représenter le format réel de l'œuvre de manière égocentrée ³, autrement dit en utilisant le corps humain comme une référence de mesure (> cf. [expérimentations 1 et 2, partie 4.1](#)). L'autre concept propose d'introduire des contrastes tactiles au sein des représentations pour en augmenter leur lisibilité et, par conséquent, leur compréhension (> cf. [expérimentations 3 et 4, partie 4.2](#)).

Originalité de la thèse

Nos travaux de recherche ont un caractère original pour plusieurs raisons. D'abord, en raison de la thématique de recherche qui a été orientée par une demande industrielle particulière. En effet, il s'agit d'un lunetier, qui en plus de son activité principale de création et de distribution de lunettes, conçoit, développe et finance des parcours tactiles et audio-tactiles destinés aux personnes pour lesquelles les lunettes ne

3. Il s'agit d'un système de référence où l'individu utilise son propre corps comme repère pour localiser un objet, par exemple. Ainsi, dans ce système, les personnes en situation de handicap visuel situent par le toucher les objets qui se trouvent dans leur espace de préhension. S'oppose à « *allocentré* » défini à la page précédente.

permettent pas l'accès à l'art. La question de l'accès aux œuvres d'art pour les personnes aveugles et amblyopes est en effet le point de départ d'une recherche menée avec le groupe Alain Mikli International dans le cadre d'une convention CIFRE où l'objectif industriel consiste à mettre au point un procédé permettant de concevoir et de fabriquer des représentations tactiles d'œuvres d'art, à partir des photographies de *La Terre vue du ciel* de Yann Arthus-Bertrand. Du point de vue de la recherche, nos constats nous amènent à dire que ce champ de recherche n'est pas formalisé.

L'originalité de cette recherche réside aussi dans l'approche. En effet, le manque de connaissances quant aux utilisateurs et au produit à concevoir (pas de norme de représentation) nous amène à recueillir des informations dans des domaines connexes, en sciences cognitives et notamment en psychologie. Nous traduisons, en tant que concepteur, des données relatives à l'individu en informations pour le produit à concevoir ([en sous-hypothèses précisément, > cf. parties 3.2.2.1 et 3.2.2.2](#)).

Apports de la thèse

Les apports de cette recherche sont une démarche de conception expérimentale et deux concepts à l'attention des concepteurs, chefs de projet, etc.

Cette démarche est expérimentale c'est-à-dire qu'elle requiert la participation des utilisateurs. Elle s'articule en trois phases : un transfert de connaissances de la psychologie vers la conception de produits ; la conception de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » qui sont des représentations intermédiaires physiques dont le rôle est de valider les représentations proposées selon ces deux critères au cours d'un premier cycle itératif ; enfin, les retours recueillis permettent de concevoir les représentations mises en place au sein du parcours qui sont évaluées une deuxième fois par des utilisateurs aveugles et amblyopes.

Cette démarche est pré-modélisée puis modélisée au cours de quatre expérimentations (soit deux fois deux cycles itératifs) et mise en œuvre pour la conception et la fabrication d'un parcours audio-tactile au musée du quai Branly.

De la modélisation de cette démarche en résultent deux concepts. L'un porte sur l'explication du format réel de l'œuvre et l'autre sur la conception de contrastes tactiles dans les représentations. Ils sont mis en application tous les deux au musée du quai Branly dans le cadre de la réalisation de ce même parcours audio-tactile sur le plateau des collections.

Structure du document

Ce document est composé de cinq parties : le positionnement et les enjeux de cette recherche ; l'état de l'art ; la problématique et les hypothèses de recherche ; les expérimentations ; les apports de thèse.

Partie 1 : positionnement et enjeux

Cette partie de document montre le positionnement de notre recherche par rapport à la recherche scientifique et aux enjeux qu'elle suscite.

Notre travail se situe au sein de la communauté de recherche en génie industriel et en particulier en sciences de la conception. Il est réalisé au laboratoire de conception de produits et innovation (LCPI) dont l'objectif est l'optimisation du processus de conception. Du point de vue du processus de conception, nous montrons que nos travaux démarrent en phase d'analyse du besoin dans le but de proposer des représentations tactiles dont les étapes de conception qui suivent sont à formaliser. Nous montrons que notre recherche a un caractère multidisciplinaire à l'image du LCPI, d'une part car il s'agit d'une recherche en design et, d'autre part, parce qu'il est nécessaire de transférer des connaissances de domaines connexes, en psychologie principalement.

Partie 2 : état de l'art

Nous présentons, dans cette partie de document, les connaissances existantes associées à notre problématique concernant la manière de concevoir des représentations tactiles d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel. Cela sous-tend deux aspects : la démarche de conception pour y parvenir et le produit à concevoir. L'état de l'art est organisé dans cette logique en étant découpé en trois parties, selon deux points de vue : tout d'abord, celui du concepteur, par rapport à un état de l'art sur la conception universelle qui a pour objectif, entre autres, de concevoir des produits pour les personnes en situation de handicap visuel parmi la population globale et un recueil des classifications des représentations intermédiaires existantes notamment celles qui sont physiques et en trois dimensions (c'est-à-dire les maquettes et les prototypes) ; ensuite, le point de vue de l'utilisateur, en synthétisant les études sur la perception tactile ; et, un état de l'art des visites proposées dans les musées en complément d'une synthèse des procédés de fabrication ainsi que des normes, recommandations et propositions de représentations existantes.

Partie 3 : problématique et hypothèses de recherche

L'état de l'art montre la nécessité de formaliser la conception de représentations tactiles pour les personnes en situation de handicap visuel.

Les deux hypothèses proposent de répondre à cette problématique du point de vue méthodologique, en proposant une démarche de conception expérimentale, et du point de vue du produit à concevoir, en proposant des concepts à mettre en application par les concepteurs.

Partie 4 : expérimentations

Les expérimentations reprennent les deux aspects qui constituent nos deux hypothèses énoncées en partie 3. L'organisation de ces quatre expérimentations en fonction des hypothèses à tester est synthétisée dans le tableau 1.

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES	EXPÉ 1	EXPÉ 2	EXPÉ 3	EXPÉ 4
DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE	Étape 1 : transférer des connaissances		X	X	
	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles	X	X	X	X
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	X	X	X	X
PRODUIT	Sous-hypothèse 2.1 : représentation égocentrée du format de l'œuvre	X	X		
	Sous-hypothèse 2.2 : contrastes tactiles			X	X

Tableau 1. Organisation des quatre expérimentations en fonction des deux hypothèses énoncées

L'expérimentation 1 permet de définir deux étapes de la démarche de conception : l'étape qui consiste à concevoir les représentations intermédiaires sous la forme de maquettes et la suivante qui vise à les évaluer en organisant des entretiens au cours de deux cycles itératifs. La nécessité d'organiser ces deux cycles itératifs de conception/d'évaluation est démontrée, car les résultats montrent que la représentation tactile proposée est lisible mais pas suffisamment claire du point de vue de la compréhension. Ces résultats ont validé, en partie seulement, la proposition conçue qui vise à expliquer le format réel de l'œuvre en utilisant le corps comme étalon.

L'expérimentation 2 démontre que la version 2 de cette représentation, dans la mesure où nous prenons en compte les retours des utilisateurs dans le cadre de la première expérimentation, fonctionne puisque les usagers la jugent très lisible, compréhensible et utile. Ces résultats démontrent l'utilité d'un deuxième cycle de conception et permettent d'ajouter une première étape à notre démarche de conception : il s'agit de transférer des connaissances issues des sciences cognitives vers la conception de produits, car le concept de la représentation est basé sur une donnée théorique amenée par **[Hatwell 2003]** qui définit la représentation plutôt égocentrée des personnes aveugles et qui semble, par extension, familière aussi aux utilisateurs amblyopes.

L'expérimentation 3 confirme les étapes identifiées dans les expérimentations précédentes sachant qu'elles permettent d'établir un second concept : celui des contrastes tactiles (de formes et de textures notamment ⁴) dont le rôle est d'augmenter la lisibilité tactile et donc la compréhension des éléments qui constituent la représentation.

Au cours de l'expérimentation 4, les données théoriques de l'expérimentation précédente qui sont à la base du concept de contrastes tactiles constituent la sous-hypothèse de représentation de nos représentations intermédiaires. Les résultats positifs transmis par douze participants à nos entretiens confirment, comme dans la première expérimentation, l'intérêt des étapes définies dans l'expérimentation 1 et valident le second concept.

Partie 5 : apports de thèse

Notre premier apport est la formalisation d'une démarche de conception en trois étapes. La première étape est le transfert de connaissances nécessaires entre la psychologie et la conception de produits où les données théoriques sont traduites en sous-hypothèses de représentation (qui deviennent des concepts si ces sous-hypothèses sont validées par les participants à nos entretiens). Dans une deuxième étape, les maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » matérialisent ce transfert et constituent des représentations intermédiaires qui permettent l'échange

4. Les contrastes tactiles consistent à associer deux grandeurs tactiles extrêmes relatives à une procédure exploratoire spécifique (> cf. [partie 2.2.1](#)). Nous émettons l'hypothèse qu'ils permettraient de créer des sensations tactiles susceptibles d'augmenter la lisibilité et la compréhension de nos représentations en relief.

Ainsi, le contraste de formes viserait à créer des sensations tactiles à l'aide de reliefs de formes géométriques opposés à des reliefs de formes arrondies alors que le contraste de textures associerait deux matériaux et/ou deux états de surface : une surface lisse serait juxtaposée à une surface rugueuse. La différence entre ces deux types de contrastes étant leur échelle de représentation : une texture rugueuse pouvant être un relief de forme géométrique, en grossissant le motif.

d'idées avec les utilisateurs aveugles et amblyopes participant aux entretiens. Enfin, la troisième étape vise à planifier un second cycle itératif (au cours duquel les retours du premier cycle itératif sont pris en compte), ce qui permet de concevoir une représentation tactile mise en place au sein d'un parcours. Une évaluation est alors réalisée pour poursuivre l'apport de connaissances et proposer une amélioration de produit. De cette démarche, nous proposons deux types de représentations où la validation avec les personnes aveugles et amblyopes au cours du second cycle itératif permet la proposition de deux concepts : l'explication du format réel de l'œuvre de manière égocentrée, c'est-à-dire en utilisant le corps humain comme une référence de mesure, et l'introduction de contrastes tactiles dans les représentations tactiles, à la manière des contrastes visuels colorés.

Pour finir, nous terminons ce document par l'énoncé des perspectives élaborées à partir de ce travail de recherche.

1. POSITIONNEMENT ET ENJEUX

Introduction

Nos travaux de recherche sont réalisés dans le cadre d'une convention CIFRE, avec le groupe Alain Mikli International comme partenaire industriel. Les actions de mécénat menées par le groupe en faveur des personnes en situation de handicap visuel orientent notre recherche. En effet, notre livrable industriel consiste à concevoir une « *nouvelle génération d'expositions tactiles* ⁵ » (> cf. [partie 1.1](#)).

Cette demande industrielle met en exergue notre problématique de recherche en lien avec la conception des représentations tactiles qui composent ces expositions (précisément, comment concevoir ces représentations tactiles). Comme notre travail se positionne, du point de vue scientifique, dans le génie industriel et en particulier dans les sciences de la conception, nous proposons des apports méthodologiques : les recherches de notre laboratoire d'accueil étant centrées sur l'optimisation du processus de conception (> cf. [partie 1.2](#)).

L'objectif à atteindre, défini avec le groupe Alain Mikli International, souligne l'enjeu industriel de notre recherche sachant que celui-ci s'inscrit dans un contexte législatif et démographique particulier qui met en évidence l'enjeu social et sociétal de nos travaux (> cf. [partie 1.3](#)).

5. Citation empruntée à Alain Mikli, lors de mon arrivée au sein du groupe, en 2008.

1.1. Positionnement industriel de la recherche

Notre projet de recherche se déroule au sein du groupe Alain Mikli International, notre entreprise d'accueil dans le cadre de la convention CIFRE. Le groupe a été créé en 1978 par Alain Mikli, opticien de formation ⁶. Il s'agit d'une entreprise de création et de distribution de lunettes composée de cinq marques (cf. figure 1) : StarckEyes® lancée en 1996 avec le célèbre designer français Philippe Starck, Alain Mikli®, Mikli by Mikli®, Jean-Paul Gaultier by Mikli® et Vuarnet®, présentes dans soixante-quatre pays et qui se différencient par leurs styles et les innovations associées (matières, formes, composants, etc.) et, du point de vue marketing, par la population-cible visée.



Figure 1. Les cinq marques du groupe Alain Mikli International

1.1.1. La création de lunettes innovantes et originales

Le premier brevet a été déposé en 1989. L'innovation technique consistait en un principe d'articulation des branches de lunettes par une liaison élastique. Depuis, seize brevets ont été déposés par le groupe dont huit sont en cours d'exploitation pour les collections StarckEyes® et Alain Mikli® : ces innovations concernent les charnières, les chaussants de nez, les plaquettes, les spatules, les traitements ⁷ et l'ajustage ⁸ (cf. figure 2).

6. « Je me suis spécialisé dans la lunetterie et, par réaction contre les lunettes ringardes, j'ai voulu me lancer dans la création » Alain Mikli.

7. C'est-à-dire les traitements de surface des montures (coloration, polissage et finition).

8. C'est-à-dire le réglage final sur client des plaquettes et des branches, adaptées à sa morphologie.

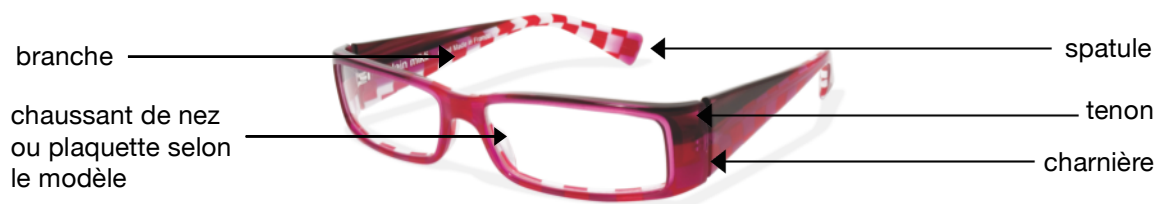


Figure 2. Désignation des éléments qui composent une paire de lunettes

Alors que les recherches concernant la matière (acétate de cellulose, titane, aluminium, corne et or) permettent de mettre au point de nouveaux coloris et motifs pour chaque collection, les innovations techniques telles que la flexibilité des branches et la légèreté des montures contribuent au confort des lunettes et ont permis à Alain Mikli de créer des lunettes « *pour voir autant que pour être vues* » en se positionnant sur le marché de la lunetterie comme un créateur avant-gardiste qui envisage, dès la fin des années 1970, cette contrainte médicale comme un accessoire de mode élégant, provocant et intemporel qui « *habille les yeux* » (cf. figure 3).

Figure 3. Exemples de campagnes de communication ⁹

La matière est en effet un élément central dans la création de lunettes ¹⁰ pour plusieurs raisons : des recherches sur les coloris, les motifs et les finitions sont réalisées pour chaque collection ainsi que des recherches sur de nouveaux matériaux associées à des procédés innovants transférés dans la lunetterie. De ce fait, la matière

9. À gauche, slogan de la campagne de communication de 1982 : « *Myopie, hypermétropie, astigmatisme, strabisme : quatre nouvelles raisons d'être à la mode.* » Au centre, campagne de publicité de 1990. À droite, slogan de la campagne de communication de 2004 : « *Dents pourries mais ça ne voit pas, on regarde vos lunettes.* »

10. « *Connaître la matière, en prendre possession, la maîtriser pour mieux se l'approprier* » Alain Mikli.

qui constitue les lunettes est intégrée dès le brief (phase 1). Le processus de création, qui peut être décomposé en six étapes (cf. figure 4), montre que le prototypage des lunettes intervient en amont du processus de création, c'est-à-dire en phase 2.

Phase (1) : *brief* de la lunette à concevoir

Phase (2) : *prototypage*

Phase (3) : *validation* du prototype

Phase (4) : *développement*

Phase (5) : *industrialisation*

Phase (6) : *production*

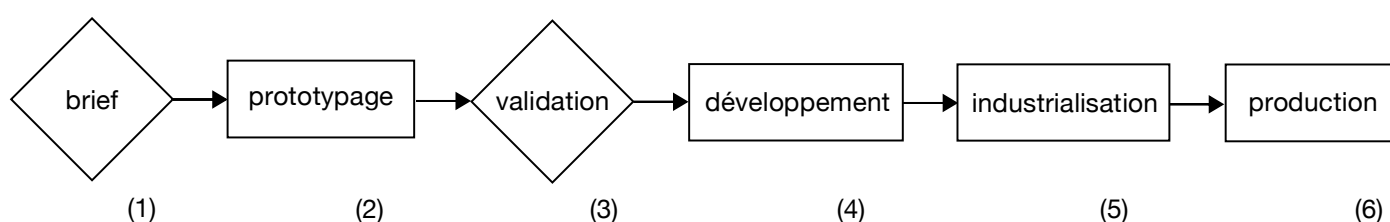


Figure 4. Schéma du processus de création en six phases

En effet, le prototypage (phase 2) permet de valider plusieurs aspects du produit : son style, son confort et sa faisabilité technique (phase 3).

La création, la production et la distribution de lunettes sont les activités principales de l'entreprise. En plus de cette activité commerciale, le groupe est engagé depuis vingt ans dans des actions de mécénat en faveur des personnes en situation de handicap visuel.

1.1.2. L'engagement d'Alain Mikli en faveur de l'autonomie des personnes en situation de handicap visuel, entre 1992 et 2008

En 1992, Alain Mikli organise une vente aux enchères de lunettes à l'hôtel Drouot au profit de l'association Valentin Haüy ¹¹. En 2004, Mira Europe ¹² cherche à offrir des

11. L'Association Valentin Haüy (AVH) a été fondée le 28 janvier 1889. Son rôle est d'aider les personnes et les organisations qui s'occupent de personnes en situation de handicap visuel, d'étudier, de diffuser et d'appliquer tout ce qui peut participer à leur instruction, à leur promotion sociale et les aider à surmonter leur handicap ainsi que de participer à la recherche médicale.

12. L'association Mira Europe a été fondée en janvier 2007 par la fusion de deux associations : Mira France et Hydra Europe. Reconnue officiellement « association d'assistance et de bienfaisance », elle a pour objectif la création de la première école de chiens-guides pour enfants aveugles sur le territoire européen.

chiens-guides à des enfants aveugles. Alain Mikli, sensible à cette démarche, devient le parrain de l'association. Deux ans plus tard, après avoir été éduqué, le premier chien est remis à une jeune étudiante aveugle. Pour faire tomber les barrières, Alain Mikli intègre, en 2006, des personnes déficientes visuelles au sein de son groupe. En 2006 et en 2007, les fonds récoltés lors du festival Paris-Bamako sont reversés à l'Institut des jeunes aveugles du Mali (IJA) ¹³. Cette première édition a permis de rénover l'internat des filles et des garçons de l'IJA du Mali. L'édition 2007 a permis de mettre en œuvre plusieurs projets pour l'IJA de Bamako : la formation d'enseignants spécialisés dans la petite enfance, l'achat et l'installation de panneaux solaires et l'achat de matériel pédagogique spécialisé. Cet événement est parrainé par Amadou et Mariam, il est accompagné par d'autres grands chanteurs comme Matthieu Chedid, Manu Chao, etc. Alain Mikli en est le principal partenaire. En 2007, avec Optic 2000 (une enseigne disposant de près de 1 200 points de vente en France), Alain Mikli lance la collection Mikli Touch® (nom de la collection écrit en braille sur la branche) dont une partie du prix de vente est reversée à deux associations qui viennent en aide aux enfants en situation de handicap visuel. Enfin, en 2008, Trésor Makunda, coureur double médaillé aux Jeux paralympiques de Pékin et d'Athènes, reçoit le soutien d'Alain Mikli dans le cadre de son engagement pour les personnes amblyopes.

1.1.3. La fabrication des expositions itinérantes « Regards tactiles » de 2001 à 2010

En 2000, Yann Arthus-Bertrand expose les photographies de *La Terre vue du ciel* au jardin du Luxembourg. Au cours de cet événement, il ne parvient pas à expliquer son travail photographique à des enfants aveugles qui l'interrogent sur son travail. Cette rencontre l'a décidé à rendre ses photographies accessibles aux visiteurs déficients visuels. Des tests de faisabilité sont réalisés par thermogonflage, mais cette technique de fabrication se révèle être inadéquate car très fragile ([il s'agit d'une impression sur papier qui ne résiste donc pas aux conditions extérieures > cf. partie 2.3.3](#)). Des travaux de recherche et de développement sont donc menés par le groupe Alain Mikli International pour mettre au point un procédé de fabrication : un peu plus d'une année est nécessaire pour définir le process de conception et de fabrication des photographies par usinage à commande numérique.

En 2003, la première exposition itinérante « Regards tactiles » est présentée à Londres

13. L'Institut des jeunes aveugles (IJA) du Mali a été créé en 1973. Il s'agit d'un institut d'éducation spécialisé pour personnes en situation de handicap visuel qui accueille principalement des enfants scolarisés.

[Lane, Miranda 2003]. Ces expositions sont composées de photographies en relief monomatière. Ce sont des images réalisées à partir de deux plaques en acétate de cellulose contrecollées, de huit millimètres d'épaisseur qui laissent apparaître par usinage de quatre millimètres de matière plusieurs niveaux de relief visuellement identifiables par des niveaux de gris : huit niveaux de relief au maximum, ce qui rend le procédé Regards tactiles unique puisque les différentes techniques utilisées dans la réalisation de documents en relief permettent de créer quatre à cinq niveaux de relief au maximum (> cf. partie 2.3.3).

La matière première des images en fait aussi un procédé exclusif puisqu'il s'agit d'acétate de cellulose, la matière préférée d'Alain Mikli pour la création de ses modèles, utilisée au départ pour remplacer l'ivoire et l'écaille de tortue. Il s'agit d'un thermoplastique amorphe, obtenu par transformation de la cellulose, issue du coton et du bois **[Kula, Ternaux 2008]**.

Depuis 2003, trente expositions itinérantes ont été organisées dans quatorze pays. Depuis huit ans, quarante-cinq photographies de *La Terre vue du ciel* ont été représentées en relief par ce procédé.

Le contexte socio-économique présenté dans cette partie de document nous sert de point de départ pour la construction de notre problématique de recherche. Celle-ci est aussi en lien avec notre contexte académique : le laboratoire de conception de produits et innovation (LCPI).

1.2. Positionnement scientifique de la recherche

1.2.1. Positionnement au sein du LCPI, laboratoire en génie industriel

Nos travaux de recherche s'inscrivent dans le domaine du génie industriel défini par l'Institute of Industrial Engineers (IIE) comme :

« Le génie industriel concerne la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés mettant en jeu des hommes, des matériaux, des équipements et de l'énergie. Il s'appuie tant sur les connaissances spécialisées et les aptitudes dans le domaine des mathématiques, de la physique et des sciences sociales que sur les principes et méthodes des sciences de l'ingénieur, afin de spécifier, prédire et évaluer les résultats découlant de ces systèmes ¹⁴. »

14. Traduction personnelle de : « *Industrial engineering is concerned with the design, improvement and*

Cette définition montre que le génie industriel est la rencontre de plusieurs disciplines telles que les mathématiques, la physique et les sciences sociales et montre en cela sa multidisciplinarité, ses connexions, notamment avec les sciences humaines et sociales. Cette définition illustre aussi le fait que le génie industriel regroupe les sciences de l'ingénieur. Parmi elles, les sciences de la conception étudiées par le LCPI qui est notre laboratoire d'accueil dans le cadre de cette thèse de doctorat.

Notre recherche a pour contexte académique le LCPI, installé au Centre Arts et Métiers ParisTech de Paris et dirigé par le professeur Améziane Aoussat. À sa création en 1973 par Robert Duchamp, le laboratoire a orienté ses recherches sur la thématique des « méthodes industrielles » puis sur l'optimisation du processus de conception, dans le but de construire des modèles théoriques de processus liés à l'activité de conception de produits.

Le LCPI considère la conception de produits en tant que passage d'un état immatériel (idée, concept, fonction, etc.) à un état matériel du produit (plan, maquette, prototype, etc.) **[LCPI 2008] [AERES 2009]**. Les apports méthodologiques (modèles, méthodes, outils, etc.) issus de l'étude de l'activité de conception de produits sont évalués dans un contexte industriel. Ayant observé que le processus de conception est pluridisciplinaire par essence, le LCPI intègre plusieurs métiers (l'ingénierie, l'ergonomie, le design produit et les métiers liés à l'environnement) au sein du laboratoire pour apprendre à travailler et à réfléchir sur des projets communs en s'appuyant aussi sur les métiers des sciences de l'ingénieur (mécanique, informatique, etc.).

Dans le document présentant le projet scientifique de recherche pour 2010-2013, le LCPI propose d'investiguer sur deux champs de recherche complémentaires et interdépendants décrits sous la forme de deux pôles :

- le pôle métiers d'où sont extraites, formalisées et modélisées les spécificités des différents métiers et disciplines intégrés au processus de conception ;
- le pôle processus dont l'objectif est de modéliser les processus qui interagissent au sein des projets de conception dans le but de les optimiser.

Ces deux pôles s'enrichissant de nouvelles technologies, supports des activités de

installation of integrated systems of people, materials, information, equipment and energy. It draws upon specialized knowledge and skill in the mathematical, physical, and social sciences together with the principles and methods of engineering analysis and design, to specify, predict, and evaluate the results to be obtained from such systems. »

Définition disponible à l'adresse suivante : <http://www.iinet2.org/Details.aspx?id=282>.

conception (cf. figure 5).

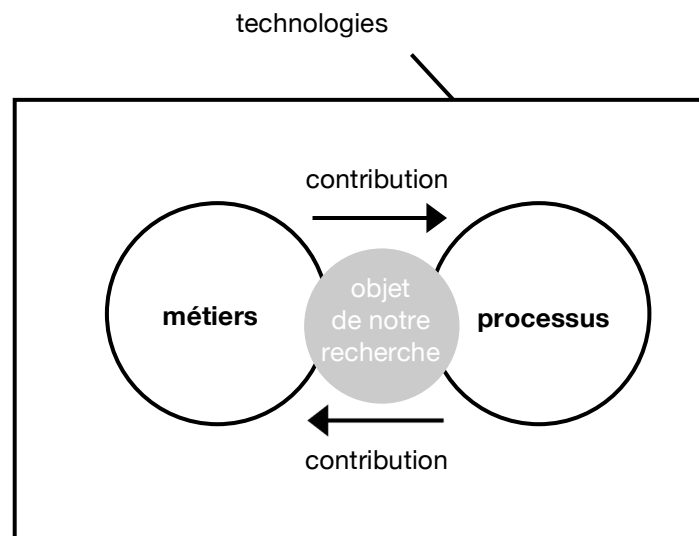


Figure 5. Pôles de recherche du LCPI

Nous positionnons notre recherche à mi-chemin entre le pôle *métiers* et le pôle *processus*, car nos apports méthodologiques sont de deux ordres : d'une part, un apport en termes de processus de conception par la proposition d'une démarche de conception expérimentale ; d'autre part, nous proposons deux concepts pour concevoir des représentations tactiles d'œuvres d'art, ceux-ci constituant des règles extraites de notre activité de conception en tant que designer produit.

1.2.2. Positionnement au sein du processus de conception

Le LCPI propose, dans les documents de communication [LCPI 2008] [AERES 2009], un modèle générique basé sur les travaux de recherche réalisés par [Aoussat 1990] qui s'articule en quatre phases (cf. figure 6) :

- (1) *Traduction du besoin* : l'objectif de cette phase est de traduire le besoin identifié par l'entreprise en fonctions puis en cahier des charges fonctionnel.
- (2) *Interprétation du besoin* : le but est de proposer des concepts, à valider avec l'entreprise, en fonction de la veille préalablement réalisée de manière à établir le cahier des charges concepteur.
- (3) *Définition du besoin* : il s'agit de définir le produit en vue de sa reproductibilité industrielle.
- (4) *Validation du besoin* : validation de la conception du produit par la réalisation d'un prototype en vue des tests utilisateurs puis du lancement du produit sur le marché.

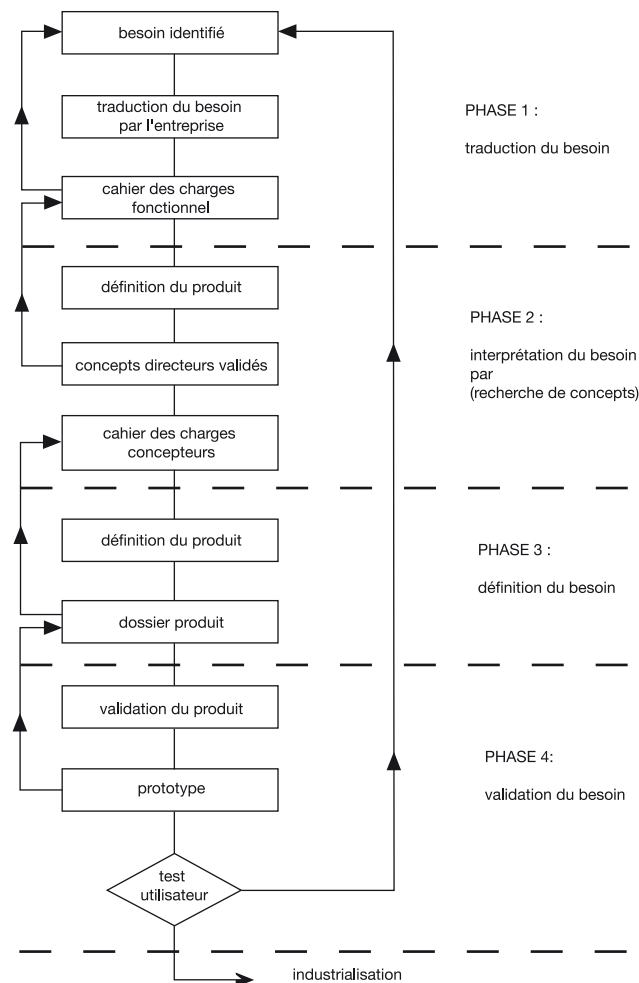


Figure 6. Modèle générique de processus de conception du LCPI

Par rapport à cette démarche, nous positionnons le démarrage de nos travaux de recherche en phase (1), le besoin identifié par l'entreprise étant de concevoir de nouvelles expositions tactiles. Toutefois, pour notre projet de recherche, les étapes de conception suivantes diffèrent de celles énoncées par **[Aoussat 1990]** en raison du manque de connaissances sur les utilisateurs, nécessaires pour élaborer le cahier des charges fonctionnel (CdCF). En effet, dans la phase (1) désignée comme étant la traduction du besoin, **[Aoussat, Le Coq 1998]** expliquent que le cahier des charges fonctionnel est le résultat de la détermination de ces fonctions d'usage, d'échange, d'estime et esthétiques. L'ensemble des fonctions étant elles-mêmes définies par l'étude du marché et par l'étude du comportement des utilisateurs et inversement comme illustré en figure 7.

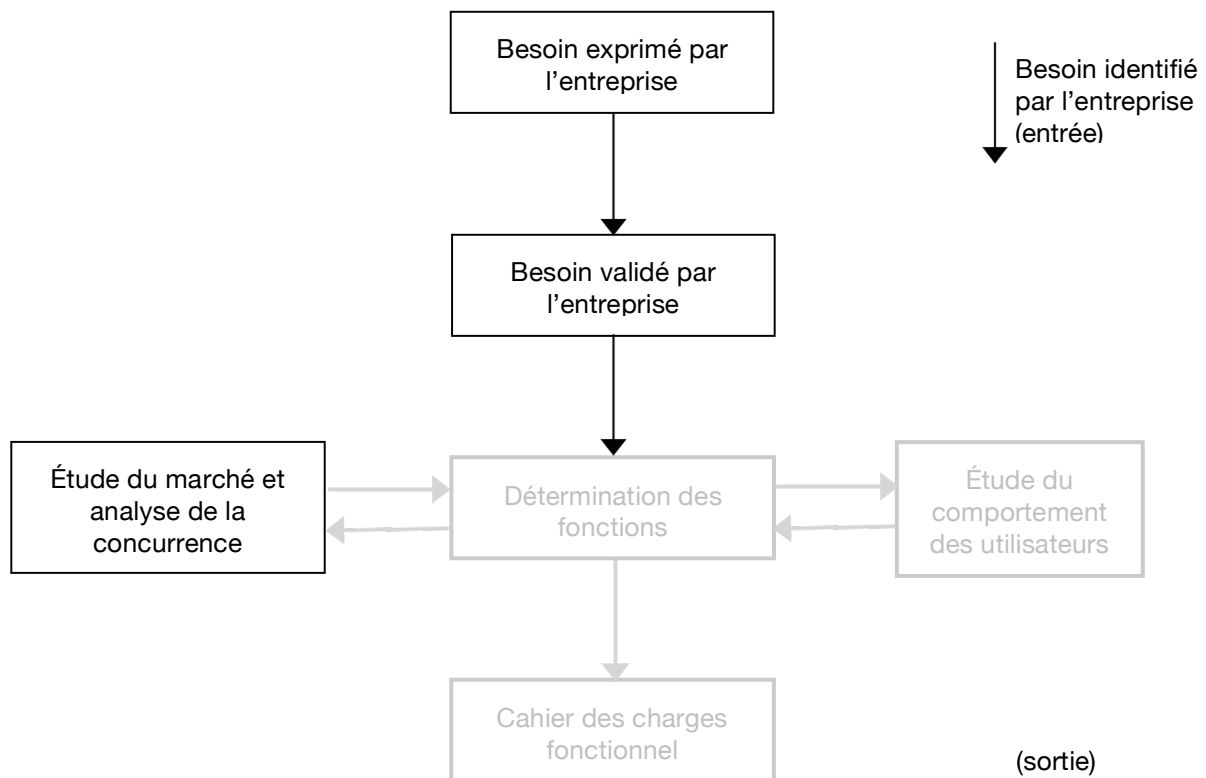


Figure 7. Phase (1) : traduction du besoin

La corrélation fonction/usager met en évidence la nécessité de connaître les utilisateurs potentiels du produit à concevoir car le CdCF peut être élaboré de manière précise seulement si les connaissances relatives aux utilisateurs sont suffisantes. Or son élaboration est basée sur l'expression fonctionnelle du besoin (EFB), un livrable qui présente les résultats obtenus par l'analyse fonctionnelle externe (appelée aussi analyse fonctionnelle du besoin) dont la « *démarche [...] décrit complètement les fonctions et leurs relations, [...] sont systématiquement caractérisées, classées et évaluées [...]* » d'après les normes **[FD X50-101]** et **[EN 1325-1]**. Citons comme exemple : la fonction « *doit permettre de percevoir les éléments de l'image par le toucher* » liée à l'étape utilisation. Nous ne parvenons pas à caractériser les éléments à représenter, leurs niveaux de relief, leurs états de surface par exemple, car, d'après notre étude bibliographique, il n'existe ni norme ni connaissance avérées sur les aspects tactiles des représentations d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel. Ce manque de connaissances par rapport aux usagers impose une démarche expérimentale. Celle-ci nous fait entrer dans un cycle de recherche-action afin de recueillir les connaissances et informations nécessaires à la rédaction de spécifications pour enrichir l'analyse fonctionnelle.

Ce manque de connaissances aurait pu orienter nos travaux vers l'analyse sensorielle

définie selon la norme européenne **[NF EN ISO 5492]** comme étant un domaine relatif à l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes des sens. Or plusieurs limites à cette approche, identifiées par Alexandre de Rouvray, sont aussi valables dans notre contexte de recherche. Tout d'abord, la mise en place d'une démarche d'évaluation sensorielle nécessite du temps ainsi que des moyens humains et financiers importants (cabines d'évaluation, constitution d'un panel d'experts, etc.). Ensuite, ces techniques ne sont pas tournées naturellement vers la conception : notamment, elles ne fournissent pas d'indication sur la manière dont le concepteur doit choisir l'attribut du produit à évaluer. En ce sens, dans l'état, elles sont inadaptées à la conception de produits autres qu'alimentaires et cosmétiques qui sont, par essence, multisensoriels **[De Rouvray 2007]**.

L'échantillon de processus de conception étudié par **[Perrin-Bruneau 2005]** montre que la rédaction du CdCF intervient lors de la première phase nommée « *caractérisation fonctionnelle du besoin / rédaction du cahier des charges* ». Dans son analyse, elle distingue au total cinq étapes communes à ces douze processus de conception ¹⁵ :

- (1) : *Caractérisation fonctionnelle du besoin / rédaction du cahier des charges*
- (2) : *Recherche créative / choix d'un principe de solution*
- (3) : *Conception préliminaire (architecture produit)*
- (4) : *Conception détaillée (composants)*
- (5) : *Industrialisation*

Dans leur étude **[Howard et al. 2008]** définissent six phases communes à vingt-trois processus de conception ¹⁶ modélisés entre 1967 et 2006.

- (1) : *Analyse du besoin (establishing a need phase)*
- (2) : *Planification des tâches (analysis of task phase)*
- (3) : *Conception générale (conceptual design phase)*
- (4) : *Définition de l'architecture produit (embodiment design phase)*
- (5) : *Conception détaillée (detailed design phase)*
- (6) : *Développement et production (implementation phase)*

15. Son échantillon est composé des modèles proposés par : Yannou (2002), Meinders (1997), Vadcard (1996), Pahl et al. (1996), Bakker (1995), Brezet et al. (1994), Ertas et al. (1994), Bocquet et al. (1994), Jouineau (1993), Keoleian et al. (1995), Ullman (1992), Brezet et al. (1994).

16. Booz et al. (1967), Archer (1968), Svensson (1974), Wilson (1980), Urban and Hauser (1980), VDI-2222 (1982), Hubka Aand Eder (1982), Crawford (1984), Pahl and Beitz (1984), French (1985), Ray (1985), Cooper (1986), Andreasen and Hein (1987), Pugh (1991), Hales (1993), Baxter (1995), Ulrich and Eppinger (1995), Ullman (1997), BS7000 (1997), Black (1999), Cross (2000), Design Council (2006), Industrial Innovation Process (2006).

Pour eux aussi, le cahier des charges est établi lors de la première étape d'analyse du besoin. Les étapes définies par **[Perrin-Bruneau 2005]** puis par **[Howard et al. 2008]** ont des rôles similaires (cf. figure 8). **[Howard et al. 2008]** ajoutent l'étape (2) de planification de projet, mais les autres phases de conception ont un objectif semblable. Ces deux études montrent aussi que le cahier des charges est défini à l'issue de l'étape (1) et qu'il est nécessaire pour générer des principes de solutions au cours de l'étape suivante.

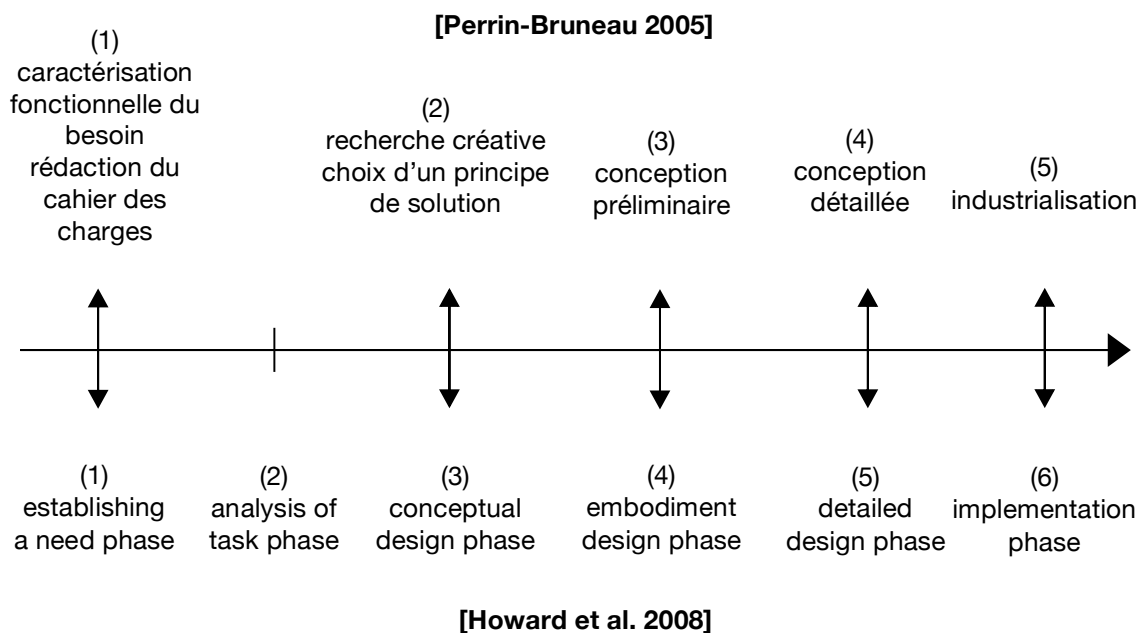


Figure 8. Comparaison des étapes décrites dans les processus de conception étudiés

Pour générer des connaissances (et proposer des solutions du point de vue industriel), nous devons définir des phases de conception alternatives à celles proposées par **[Howard et al. 2008]**, **[Perrin-Bruneau 2005]** et **[Aoussat 1990]** dans le but de rejoindre la dernière phase, c'est-à-dire celle de « la production » ou de « l'industrialisation », car l'objectif est de proposer un produit reproductible industriellement (même s'il s'agit d'une production en petite série) comme schématisé figure 9.

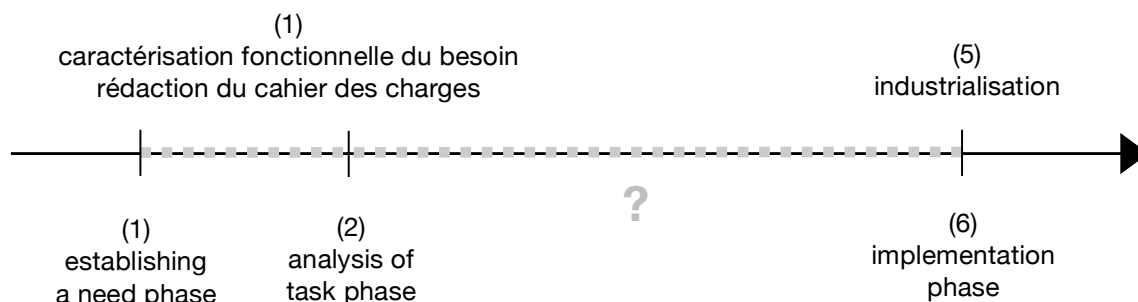


Figure 9. Étapes du processus de conception à définir

En nous positionnant au sein du processus de conception, nous venons d'identifier un manque de connaissances à propos des utilisateurs en situation de handicap visuel. Nous allons voir que notre recherche bibliographique met aussi en évidence ce premier constat.

1.2.3. Positionnement international de la recherche

Notre état de l'art bibliographique montre que les travaux publiés à propos des utilisateurs aveugles et amblyopes dans la conception de produits tactiles (> cf. [partie 2](#)) peuvent être divisés en deux catégories (cf. figure 10) :

Première catégorie : la conception de produits pour les personnes en situation de handicap visuel. Les apports de ces études sont de deux ordres : un apport méthodologique en matière de modèles et d'outils sur le processus de conception, et/ou un apport en matière de produits accessibles à tous. En effet, dans cette catégorie, on retrouve des études qui revendiquent leur appartenance au courant de conception universelle regroupant l'Universal Design, l'Inclusive Design, le Design for All, etc. Dans cette catégorie, il s'agit de recherche appliquée telle que l'OCDE ¹⁷ l'a définie.

Deuxième catégorie : l'étude du comportement cognitivo-perceptif des personnes en situation de handicap visuel où il s'agit de recherche fondamentale ¹⁸ dont les études

17. « La recherche appliquée est l'ensemble des travaux originaux entrepris principalement dans le but d'acquérir des connaissances scientifiques ou techniques en vue d'applications pratiques et précises. Elle implique la prise en compte des connaissances existantes et leur extension dans le but de résoudre des problèmes particuliers. Elle vise à discerner les applications possibles des résultats d'une recherche fondamentale ou à trouver des solutions nouvelles » [Cattan 2004].

18. « La recherche fondamentale est l'ensemble des travaux expérimentaux ou théoriques entrepris principalement en vue d'acquérir des connaissances scientifiques ou techniques nouvelles, sans qu'il y ait

sont réalisées par des disciplines telles que la psychologie, l'ergonomie, les neurosciences et l'ophtalmologie.

Les deux catégories présentées ci-dessus peuvent elles-mêmes être divisées en deux groupes (cf. figure 10) :

1. La publication d'études universitaires à propos de la conception universelle (*Universal Design* et *Inclusive Design*) et en psychologie ¹⁹ (*European Psychologist*, *Psychological Bulletin*, *Cognitive Psychology*, *Acta Psychologica*, *Revue européenne de psychologie appliquée*, par exemple), en ergonomie (*Applied Ergonomics* dans notre état de l'art), en neurosciences (*Neuroscience and Biobehavioral Reviews* dans notre recherche bibliographique), en ophtalmologie (*Survey of Ophtalmology* dans notre état de l'art bibliographique), etc.

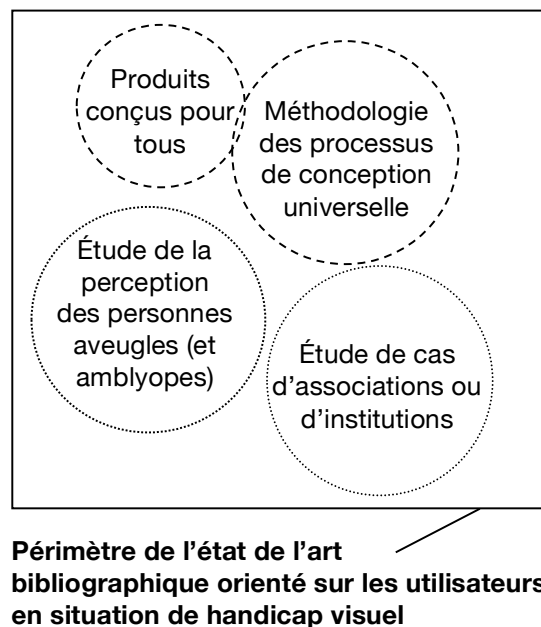


Figure 10. Catégories et groupes d'études identifiés dans notre état de l'art

2. Des études menées par des associations ou des instituts spécialisés comme le Royal National Institute of Blind People (RNIB, au Royaume-Uni), l'Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE, en Espagne), Institut Nazareth et Louis-Braille

une application ou une utilisation en vue » [Cattan 2004].

19. Nous préférons utilisé le terme « psychologie » qui regroupe plusieurs spécialités comme, par exemple, la psychologie expérimentale, la psychologie cognitive, etc.

(au Canada), Smith-Kettlewell Eye Research Institute (aux États-Unis), The Canadian National Institute for the Blind (au Canada), American Foundation for the Blind (aux États-Unis) présentant généralement les résultats d'études de cas.

L'élargissement de notre état de l'art à propos de la conception de produits tactiles, du point de vue général, est une conséquence d'un manque de connaissances dans des champs de recherche plus détaillés. En effet, peu de connaissances sont disponibles dans la conception de représentations tactiles d'œuvres d'art ou, plus largement, dans la conception de représentations tactiles d'objets. Pour cette raison, nous devons réaliser un transfert de connaissances des études en recherche fondamentale (psychologie, etc.) vers la conception de produits ([ce transfert constitue une hypothèse de recherche, détaillée en partie 3.2.1.1](#)).

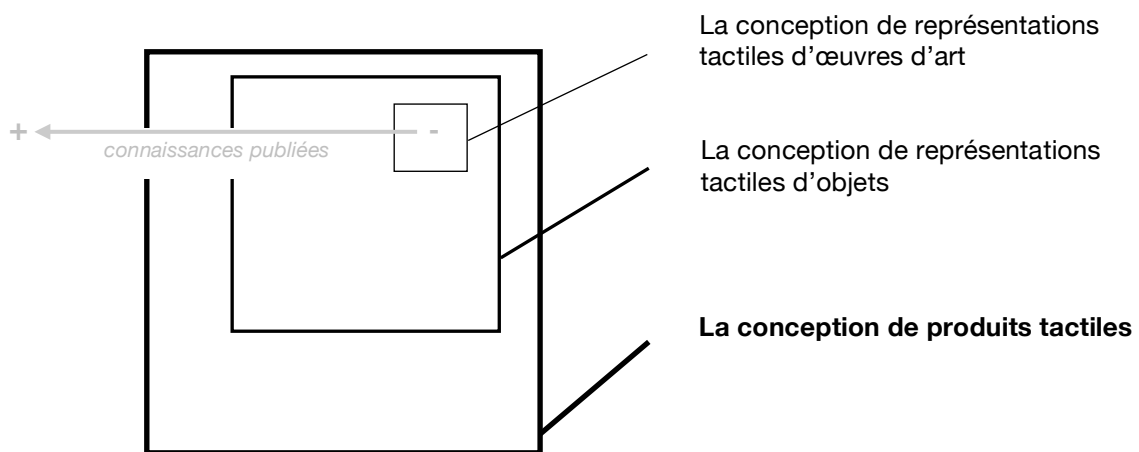


Figure 11. Champs de recherche identifiés

En résumé, notre état de l'art bibliographique met en évidence trois constats. Tout d'abord, les travaux qui évoquent les personnes aveugles et amblyopes dans la conception de produits portent sur la méthodologie de conception et/ou sur les produits conçus ; ensuite, ces études sont menées par des laboratoires de recherche universitaires ou bien par des instituts et associations spécialisés ; enfin, plus on réduit notre champ de recherche bibliographique, en se focalisant sur la conception de représentations tactiles d'œuvres d'art notamment, moins les connaissances disponibles existent (cf. figure 11).

Notre objet de recherche étant « *comment concevoir des représentations tactiles pour les personnes en situation de handicap visuel ?* », nous positionnons nos travaux à

l'intersection des catégories et groupes identifiés comme expliqué dans la figure 10. L'objectif étant d'utiliser des connaissances complémentaires dans la conception de nos représentations tactiles d'œuvres d'art. Ce positionnement souligne le caractère multidisciplinaire de notre recherche, qui est aussi une spécificité du design industriel.

Du point de vue épistémologique, l'état de l'art bibliographique montre que nous devons recueillir des informations sur les personnes aveugles et amblyopes pour concevoir les représentations tactiles d'œuvres d'art. Afin de générer des connaissances, notre positionnement méthodologique consiste à ne pas dissocier cette recherche d'un projet de conception. De même, il ne s'agit pas d'un projet de recherche en lien avec une discipline en particulier, mais, au contraire, d'une recherche multidisciplinaire au sein de laquelle les données théoriques sont transférées de la psychologie vers la conception de produits, dans le prolongement de la multidisciplinarité au sein du LCPI et de la recherche en design **[Findeli 2008]** dont l'objectif est l'étude des objets et de leurs interactions. Les avancées de connaissances attendues concernent la compréhension du processus et des mécanismes de perception tactile des personnes aveugles et amblyopes. Ces connaissances étant directement prises en compte dans le processus de conception de produits destinés à ces personnes. Si la recherche-action lie intimement les activités, les objectifs de recherche et ceux des actions, nos travaux relèvent alors de ce paradigme.

1.2.4. Positionnement métier : le design industriel

En introduction du livre intitulé *Design : carrefour des arts*, Raymond Guidot rappelle trois idées importantes relatives au design **[Guidot 2003]**. Tout d'abord, il s'agit d'un mot très répandu voire galvaudé. En effet, pour un large public, le design serait un style identifiable sur « *des objets design* ». Ensuite, en intitulant cet ouvrage *Design : carrefour des arts*, il situe le design dans « *une perspective de pluralité de cheminements créatifs, ceux à la croisée desquels nous pensons que se trouve sa juste place* ». Enfin, il note une confusion portant sur la définition de cette discipline, car « *[les] spécialistes - qu'il s'agisse des designers eux-mêmes, des historiens de l'art, des critiques - [...] ne s'accordent guère sur le contenu du terme et sur les limites du domaine* ». En dépit des multiples définitions présentées dans les ouvrages consacrés à ce sujet, les auteurs semblent être d'accord sur l'étymologie du mot *design*. Comme l'explique **[Borja de Mojota 2002]**, ce terme vient du latin *designare* qui se traduit par

« désigner » et « dessiner ». Ces deux sens ont donné *le dessein*, car il implique une intention et un processus, et *le dessin*, parce qu'il implique la matérialisation d'un projet, par exemple, par une esquisse et a donné *design* en anglais. Parmi les définitions énoncées par les designers ²⁰ et/ou les chercheurs en design, nous retiendrons deux définitions. La première a été formulée par l'International Council of Societies of Industrial Design (ICSID) :

« Le design est une activité créative dont le but est d'établir les qualités multiples des objets, des procédés, des services et leurs systèmes au cours de leurs cycles de vie. [...] »

Il faut revenir à la définition initiale de l'ICSID ²¹ pour comprendre que « *les qualités multiples* » sont les caractéristiques extérieures ainsi que les relations fonctionnelles et structurelles des objets conçus par les designers dont l'activité professionnelle regroupe plusieurs spécialités (*multiprofessionality*) comme, par exemple, le produit,

20. Cet extrait est issu d'entretiens réalisés entre Raymond Loewy et l'éditeur Peter Mayer entre 1978 et 1979.

Raymond Loewy : « [...] Sigmund Gestetner, un fabricant de copieurs à Stencil, s'est annoncé un jour et m'a demandé de lui dessiner un nouveau modèle. Il était venu chez moi avec le modèle qu'il vendait alors : il était moche et, de surcroît, il sentait mauvais ! Je me suis mis au travail dans le petit salon, j'ai manipulé de l'argile sur une bâche et, en moins d'une semaine, je lui ai conçu une nouvelle machine. Elle lui a plu. Il a remporté le dessin à Londres, fabriqué l'engin et l'a si bien vendu que non seulement la société a prospéré mais il a gardé le même modèle pendant pratiquement quarante ans ! Avec le bureau français, nous dessinons de nouvelles machines Gestetner près de cinquante ans après !

Je ne sais pas si j'ai été le premier à modeler de l'argile pour réaliser une forme industrielle, mais, à ma connaissance, personne n'employait alors ce procédé pour faire des maquettes. Gestetner avait besoin du modèle dans des délais si brefs qu'une maquette en acier était hors de question. Il me fallait travailler de mes mains comme un sculpteur. Pour plus d'efficacité, je m'étais tenu aussi près que possible de la structure : le résultat final fut une forme simplifiée, apte à éviter les obstructions par l'huile, l'encre ou le papier, une machine bien plus facile à manipuler et entretenir par la secrétaire. »

Peter Mayer : « En d'autres termes, ce que nous évoquons parfois comme une amélioration de l'aspect de la machine constituait un pas en avant sur plan fonctionnel. »

Raymond Loewy : « Exactement. Et c'est cela, la véritable nature du design industriel. »

21. Traduction personnelle de : « *Design is a creative activity whose aim is to establish the multi-faceted qualities of objects, processes, services and their systems in whole life cycles.* »

Cette définition a remplacé celle qui a été adoptée par l'organisme international ICSID en 1969 : « *Le design industriel est une activité créative dont le but est de déterminer les propriétés formelles des objets produits industriellement. Par propriétés formelles, on ne doit pas entendre seulement les caractéristiques extérieures, mais surtout les relations fonctionnelles et structurelles qui font de l'objet une unité cohérente, tant du point de vue du producteur que du consommateur.* »

Traduction personnelle de : « *Industrial design is a creative activity whose aims is to determine the formal qualities of objects produced by industry. These formal qualities are not only the external features but are principally those structural and functional relationships which convert a system to a coherent unity both from the point of view of the producer and the user.* »

les services, le graphisme, l'intérieur et l'architecture **[Findeli 2008]**. D'ailleurs, tout comme les architectes et les ingénieurs, les designers partagent avec eux le rôle de concepteurs **[Hatchuel 2007]**.

En complément de cette explication, nous choisissons une seconde définition énoncée par Danielle Quarante puis citée par le **[Musée national d'art moderne 2009]**,²² car elle est plus spécifique à la recherche en design et adaptée en particulier à notre objet de recherche :

« Le design industriel est la volonté d'introduire les facteurs humains dans la production industrielle et par facteurs humains, j'entendrais aussi bien l'ergonomie que la sociologie, considérant à la fois les limites physiques et biologiques de l'homme, son système de perception, de communication, les limites des sens, la vision, le goût, l'odorat, la sensation de douleur, la perception de la température ou de l'accélération, sa sensibilité esthétique, les limites sociales, psychologiques et culturelles de l'homme. C'est dans l'ensemble de ce système complexe que les implications et les conséquences des produits nouveaux que nous fabriquerons trouveront ou non leur justification. »

Danielle Quarante exprime la volonté de prendre en compte la perception sensorielle dans le design industriel²³ **[Magnon, Quarante 2010]**. Or, dans nos travaux de recherche, nous avons notamment l'objectif d'intégrer les capacités perceptives tactiles des utilisateurs en situation de handicap visuel²⁴. En qualité de pionnière de la recherche en design en France, elle souligne le fait que le design fait appel à des disciplines connexes, comme, par exemple, l'ergonomie et la sociologie. Il est vrai que, du point de vue général, la recherche en design est *multidisciplinaire* par nature²⁵ comme le rappelle **[Findeli 2008]**. En effet, d'une part, la tâche principale du design

22. À l'occasion de l'exposition temporaire *elles@centrepompidou* en 2009.

23. « C'est [...] au designer de se comporter comme un "traducteur" en utilisant toutes les ressources des formes, matières, couleurs et autres aspects plastiques et sensoriels pour y parvenir » **[Magnon, Quarante 2010]**.

24. Au cours de notre recherche nous avons rencontré Maud Dupuis qui est designer produits. Depuis 2007, elle dirige Polymorphe Design, qui a pour objectif d'intégrer le handicap au sein des lieux culturels par la conception d'expositions sensorielles, notamment pour les personnes en situation de handicap visuel. Lors d'une interview dans laquelle elle précise sa démarche de conception **[Gabillard 2008]**, elle explique qu'il existe une phase préalable à la conception finale des éléments tactiles où des petits prototypes sont fabriqués pour être testés par un réseau d'usagers et d'associations qu'elle s'est créé.

25. « Research in design is bound to be multidisciplinary, by nature so to speak » **[Findeli 2008]**.

consiste à s'intéresser au cadre de vie quotidien dans toute sa diversité, et d'autre part, l'objet de recherche en design consiste à acquérir des connaissances sur les interactions entre l'homme et l'objet conçu [Findeli 2007 ; 2008].

1.3. Enjeux de la recherche

1.3.1. Enjeu industriel : la demande du groupe Alain Mikli International

Dans le cadre de ses actions de mécénat, le groupe Alain Mikli International et le Centre Georges-Pompidou entament, en 2007, des discussions relatives à un projet de parcours tactile au sein du musée. Jusqu'à alors, l'entreprise conçoit et finance les expositions itinérantes « Regards tactiles » ; ce nouveau projet est donc un pas supplémentaire illustrant l'engagement d'Alain Mikli en faveur des personnes en situation de handicap visuel.

Alors que, depuis 2001, les recherches concernant la première génération d'expositions sont centrées sur le procédé de fabrication, dans le cadre de la thèse de doctorat, nous intégrons la perception tactile des personnes aveugles et amblyopes dans la mise au point du process de conception et de fabrication des représentations tactiles par impression 3D. Du point de vue industriel, l'objectif est de poursuivre les travaux de R&D entrepris depuis dix ans au sein du groupe puisqu'il s'agit de proposer un second procédé complémentaire au premier mis en application depuis 2003. Dans ce contexte industriel, les livrables attendus dans le cadre des actions de mécénat sont les suivants :

- conception et fabrication de l'explication du format réel d'une œuvre d'art pour le parcours tactile mis en place au Centre Georges-Pompidou ;
- recherches sur un procédé de fabrication des panneaux explicatifs mis en place au Centre Georges-Pompidou ;
- conception et fabrication des photographies de *La Terre vue du ciel* avec un second procédé de fabrication complémentaire à l'usinage à commande numérique.

Nous allons voir que les objectifs internes à l'entreprise mis en relation avec le contexte démographique mondial et le contexte social français soulignent d'autres enjeux.

1.3.2. Enjeu sociétal : l'évolution démographique mondiale

Trois critères sont nécessaires pour mesurer l'importance de la déficience visuelle d'un individu : l'acuité visuelle de loin mesurée à l'aide de l'échelle de Monoyer (à cinq mètres) ; l'acuité visuelle de près calculée à l'aide de l'échelle de Parinaud (lue à quarante centimètres) ; et le champ visuel apprécié grâce à la coupole de Goldman [Martinez, Parade 2005] (cf. figure 12).

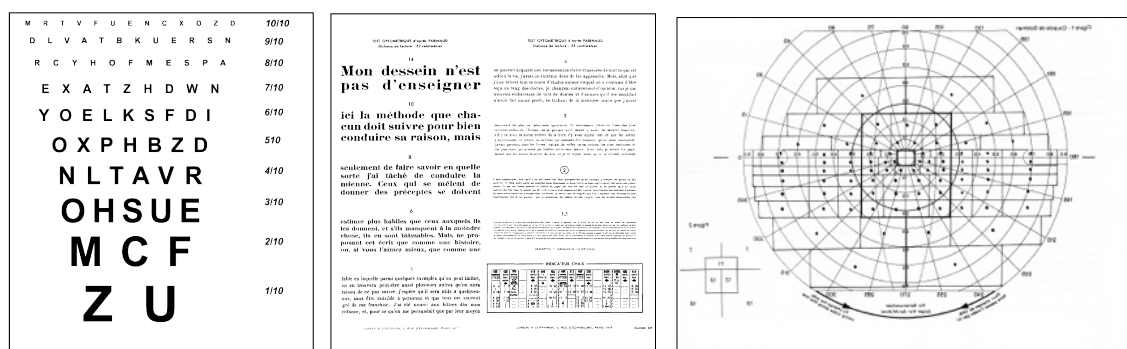


Figure 12. De gauche à droite, l'échelle de Monoyer, de Parinaud et la coupole de Goldman

À partir de ces critères, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a défini, lors de la dixième révision de la Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes (CIM-10), cinq catégories de déficience visuelle ²⁶ numérotées de 1 à 5 (de la moins grave à la plus sévère), en fonction de l'acuité et du champ visuel après correction (cf. tableau 2).

malvoyance	Catégorie 1	supérieure ou égale à $1/10^{\circ} \leq$ acuité visuelle $\leq 3/10^{\circ}$
basse vision		
amblyopie		supérieure ou égale à $1/20^{\circ} \leq$ acuité visuelle $\leq 1/10^{\circ}$
vision réduite	Catégorie 2	En pratique, les sujets comptent les doigts de la main à trois mètres.

²⁶ Dans ce document, nous utiliserons les termes « *aveugle* » ou « *non-voyant* » de manière indifférenciée pour désigner une personne dont la déficience visuelle est classée parmi les catégories 3, 4 ou 5 de la CIM-10. De même, nous utiliserons le terme « *amblyope* » pour désigner une personne dont la déficience visuelle est classée catégorie 1 ou 2 de la CIM-10. Nous n'emploierons pas le terme *malvoyant* volontairement afin d'éviter la confusion communément admise qui consiste à englober aussi les non-voyants à travers cette désignation.

aveugle non-voyant cécité	Catégorie 3	supérieure ou égale à $1/50^{\circ}$ $\leq$ acuité visuelle $\leq 1/20^{\circ}$ En pratique, le sujet compte les doigts à un mètre mais ne peut le faire à trois mètres.
	Catégorie 4	acuité visuelle $\leq 1/50^{\circ}$ Perception lumineuse, le sujet ne compte pas les doigts à un mètre ou champ visuel inférieur à 5° .
	Catégorie 5	cécité absolue Pas de perception lumineuse. A fortiori absence d'œil.

Tableau 2. Classification des atteintes de la vision selon la CIM-10

Il existe en France, selon l'enquête Handicaps-Incapacités-Dépendance (HID) de 2002, 62 000 personnes aveugles, 1 642 000 personnes amblyopes, 869 000 personnes présentant un autre trouble de la vision (champ visuel, couleurs, poursuite oculaire, etc.), 773 000 personnes dont la déficience visuelle n'est pas précisée. D'après l'enquête menée par l'OMS en 2002, 161 millions de personnes sont atteintes de déficiences visuelles dans le monde, dont environ 37 millions d'aveugles **[Resnikoff et al. 2004]**. Une étude plus récente estime que 259 millions de personnes sont atteintes de déficience visuelle à travers le monde dont 42 millions de personnes aveugles et 217 millions de personnes ayant des difficultés visuelles moins importantes **[Dandona, Dandona 2006]**. Or, avec l'augmentation de l'espérance de vie et donc le vieillissement de la population, l'OMS prévoit un doublement du nombre de déficients visuels en 2020. L'étude des besoins spécifiques des personnes en situation de handicap visuel est donc une problématique sociale actuelle qui deviendra, demain, un enjeu sociétal.

1.3.3. Enjeu social : rendre accessible les lieux culturels

L'association Tourisme et Handicap créée le 28 février 2001, a pour objectif de sensibiliser, en France, les professionnels du tourisme à l'accueil des personnes en situation de handicap moteur, mental, visuel et auditif dans les établissements de tourisme et de loisirs. Le label « Tourisme et Handicap » est destiné à renseigner des usagers aux besoins spécifiques sur l'accessibilité des sites et les équipements proposant des prestations touristiques, en particulier les hébergements, les restaurants, les sites culturels (musées, monuments, etc.) et les sites de loisirs. Le cahier des charges de la mission d'ingénierie touristique Rhône-Alpes (MITRA) indique

des directives à suivre par les musées pour être susceptibles d'être labellisés. Pour l'accessibilité des personnes en situation de handicap visuel au sein des espaces intérieurs, le cahier des charges du label est le suivant **[MITRA 2005]** :

« Mettre en place une signalétique simple, repérable, à bonne hauteur, homogène dans toutes les salles. Mettre en place les outils adaptés d'aide à la visite. Proposer des documents de visites adaptés et attractifs, œuvres et maquettes manipulables, moulages, plans en relief. Proposer des produits de visites spécifiques : prévoir des visites tactiles, visites thématiques et ludiques, ateliers pédagogiques adaptés. »

Ces objectifs traduisent des besoins spécifiques réels liés à la perception de l'espace, des objets et des œuvres d'art. Cependant, ils sont insuffisamment précis pour être utilisés dans la conception de représentations tactiles pour les personnes aveugles et amblyopes.

En complément de ce label, la loi du 11 février 2005, qui est une « *loi pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées* », a été mise en place en France. En introduction, le handicap ²⁷ est défini comme :

« Toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle durable ou définitive, d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicap ou trouble de santé invalidant. »

Elle réaffirme le principe d'accessibilité déjà présent dans la loi du 30 juin 1975 en introduisant des obligations vis-à-vis des constructeurs et des propriétaires d'immeubles quels qu'ils soient (notamment les établissements recevant du public, c'est-à-dire les [ERP]) en matière d'accessibilité aux personnes en situation de handicap :

27. Le terme « handicap » (littéralement « *la main dans le chapeau* » en anglais) apparaît pour la première fois dans un document écrit en anglais au XVII^e siècle. Intégré officiellement dans le dictionnaire de l'Académie française en 1913, il est adopté par les travailleurs sociaux et les associations, surtout à partir des années 1950. Son apparition dans le droit des personnes en situation de handicap (loi de 1957 sur les travailleurs handicapés) puis dans la loi du 30 juin 1975 en faveur des personnes handicapées admet définitivement ce terme **[Hamonet 2003]**.

« Les établissements existants recevant du public doivent être tels que toute personne handicapée puisse y accéder, y circuler et y recevoir les informations qui y sont diffusées, dans les parties ouvertes au public. L'information destinée au public doit être diffusée par des moyens adaptés aux différents handicaps. » (loi 2005-102 du 11 février 2005, art. L.111-7-3).

Tous les établissements ouverts au public ont jusqu'à 2015 pour devenir accessibles à tous. En cas de non-respect du délai de mise en conformité, les sanctions prévoient la fermeture de l'ERP existant, le remboursement de la subvention, des amendes, l'interdiction d'exercer, et réglementairement, en cas de récidive, une peine d'emprisonnement et une amende.

Plus récemment, le prix Des Musée pour tous, des musées pour chacun, créé en 2007 par le ministère de la Culture et de la Communication et la Direction des musées de France, avait pour objectif de récompenser les établissements qui favorisaient l'accès de leurs sites aux personnes en situation de handicap (moteur, sensoriel, mental ou psychique), par la mise en place d'aménagements, de dispositifs muséaux et d'offres de médiation spécifiques. Depuis 2011, il est remplacé par le prix Patrimoines pour tous, patrimoines pour chacun qui a pour objet de récompenser les projets innovants intégrés aux offres culturelles généralistes, répondant ainsi aux besoins de tous les publics.

Nous venons de voir que le contexte sociétal (dénombrement et prévisions de l'OMS) et la situation sociale (label « Tourisme et Handicap », loi du 11 février 2005, et prix Patrimoines pour tous, patrimoines pour chacun) montrent que les objectifs définis par le groupe Alain Mikli International répondent à une réelle demande qui dépasse l'enjeu industriel.

Synthèse / conclusions sur le positionnement et les enjeux

Notre recherche multidisciplinaire s'inscrit, du point de vue académique, dans les sciences de la conception. Il s'agit d'une recherche appliquée dont les livrables industriels attendus par notre entreprise d'accueil dans le cadre de la convention CIFRE permettent de définir notre objet de recherche, à savoir : concevoir des représentations tactiles pour les personnes en situation de handicap visuel. Le fait de concevoir ce type de produits pour des personnes dont les capacités perceptives sont particulières et dont les besoins sont donc spécifiques nous amène à positionner le démarrage de nos travaux en amont du processus de conception, car il nous est nécessaire d'obtenir des connaissances sur ces utilisateurs de manière expérimentale. Or, nous faisons le constat que, au-delà de cette demande industrielle, cette recherche revêt un enjeu social, compte tenu du contexte législatif français en faveur de l'accessibilité des musées à tous les publics, et un enjeu sociétal dans la mesure où les prévisions relatives à la déficience visuelle montrent un accroissement du nombre de personnes concernées au cours des prochaines décennies.

En vue de nos expérimentations, notre état de l'art synthétise notre recherche bibliographique qui porte sur trois aspects interdépendants : tout d'abord, le processus de conception de produits ; ensuite, la prise en compte de la perception tactile des usagers en situation de handicap visuel ; et, enfin, les produits tactiles conçus pour eux dans un périmètre plus large que les offres de médiation proposées au sein des musées.

2. ÉTAT DE L'ART : LES UTILISATEURS AVEUGLES ET AMBLYOPES DANS LA CONCEPTION DE PRODUITS TACTILES

Introduction

Cette deuxième partie de document a pour objectif de synthétiser, de manière orientée, les connaissances explicitées à ce jour dans des ouvrages et articles publiés dans des domaines tels que les sciences de la conception et les sciences cognitives, qui nous ont apporté l'essentiel des connaissances théoriques utiles pour positionner notre problématique et réaliser nos expérimentations.

Notre problématique étant située au carrefour de plusieurs domaines, notre recherche est multidisciplinaire. Elle nécessite de collecter des informations complémentaires issues de plusieurs disciplines. Ainsi, nous abordons notre problématique sous différents points de vue : celui des sciences de la conception puis des sciences cognitives pour les connaissances théoriques (cf. figure 13). La collecte de ces données est en relation avec notre problématique de recherche qui vise à s'interroger sur la manière de concevoir la représentation tactile d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel compte tenu du peu de connaissances disponibles. Dans les sciences de la conception, nous orientons particulièrement notre recherche bibliographique vers la conception universelle²⁸ et les représentations intermédiaires (ainsi désignées au LCPI). Les recherches en sciences cognitives sont centrées sur la perception sensorielle : l'objectif de notre recherche bibliographique dans ce domaine étant de mieux comprendre la perception tactile des personnes aveugles et amblyopes.

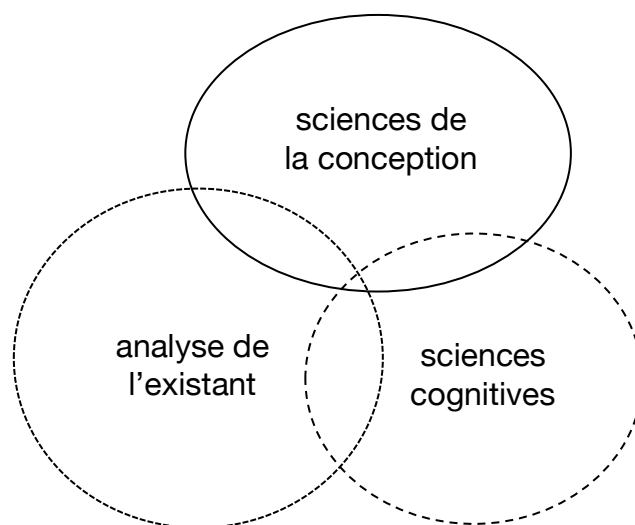


Figure 13. Disciplines et domaines connexes à notre recherche

28. En référence à la convention relative aux droits des personnes handicapées (> cf. partie 2.1.1).

En parallèle de ces données théoriques, nous synthétisons les représentations tactiles et visuelles existantes à partir de deux points de vue : celui du concepteur, en répertoriant les propositions de représentations tactiles d'objets et leurs procédés de fabrication associés, les normes de l'Afnor ainsi que les recommandations éditées pour les usagers amblyopes, en parallèle d'un état de l'art mené dans les musées, avec des visiteurs aveugles et amblyopes, dans le but de faire l'inventaire des visites proposées.

Des démarches de conception universelle pour les personnes en situation de handicap visuel ont été modélisées. Nous montrons que notre recherche se positionne en amont de ces approches existantes, car notre travail nécessite l'étude des besoins des personnes en situation de handicap visuel, réalisée par l'intermédiaire de représentations intermédiaires tactiles qui ne correspondent à aucune classification existante ([> cf. partie 2.1](#)).

Pour aborder le besoin des personnes aveugles et amblyopes, nous étudions la perception tactile et observons qu'il est nécessaire de prendre en compte les aspects perceptifs des utilisateurs dans le processus de conception ([> cf. partie 2.2](#)).

Enfin, notre synthèse relative aux représentations tactiles et visuelles existantes montre les limites des produits conçus ([> cf. partie 2.3](#)).

2.1. Concevoir un produit pour les personnes en situation de handicap visuel

2.1.1. La conception universelle

Alors que la modélisation du processus de conception est étudiée depuis les années 1960 **[Mougenot 2008]**, les principes de l'Universal Design ont été formulés, bien plus tard, dans les années 1990 et ont été le point de départ d'études scientifiques dans la conception de produits pour tous.

La définition de la conception universelle figure dans la convention relative aux droits des personnes handicapées adoptée le 13 décembre 2006 par l'Organisation des nations unies **[Devailly 2010]** :

« On entend par conception universelle la conception de produits, d'équipements, de programmes et de services qui puissent être utilisés par tous, dans toute la mesure possible, sans nécessiter ni adaptation, ni conception spéciale ²⁹. »

Ce courant vise à prendre en compte les besoins de la population globale, dans toute sa diversité : c'est-à-dire répondre aux attentes des personnes en situation de handicap visuel en incluant leurs besoins parmi ceux de la population globale, en amont du processus de conception dans le but de concevoir un produit non stigmatisant et utilisable par l'ensemble de la population. En effet, le postulat de la conception universelle repose sur le fait que les fonctionnalités du produit conçu, liées aux capacités des personnes en situation de handicap, sont utiles à l'ensemble de la population et donc bénéfiques aux usagers qui ne le sont pas.

Le Barrier-Free Environment, qui revendique un environnement sans obstacles, est à l'origine de plusieurs courants de conception universelle. Comme l'Universal Design, le Design For All et l'Inclusive Design, ils ont tous les quatre la même origine ³⁰ et

29. Disponible sur <http://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-f.pdf>.

30. Après 1945, aux États-Unis, l'évolution démographique du pays a suscité la volonté de mettre en place une société dans laquelle les personnes en situation de handicap étaient en mesure d'accéder librement à l'emploi et à l'éducation **[Story et al. 98]**.

traduisent une évolution historique de ce courant, au cours de sa formalisation et de sa diffusion [Conte 2004 ; 2005]. Mené à l'origine par de petits groupes aux États-Unis, il a tout de suite pris une ampleur internationale puisque ce concept pouvait très bien s'adapter à d'autres pays comme les pays européens et le Japon ³¹ selon [Coleman, Clarkson 2010]. D'ailleurs, ces auteurs ajoutent Gerontechnology et Transgenerational Design aux courants précédemment cités et expliquent que ces courants visent non pas à affirmer l'idée que les individus sont en situation de handicap à cause d'incapacités physiques et mentales, mais plutôt qu'ils sont en situation de handicap à cause de leur environnement et des équipements qui ne tiennent pas compte de l'ensemble des capacités humaines dans toute leur diversité ³². Pour [Keates, Clarkson 2004], le point commun de ces approches est la conception centrée utilisateur (*user-centred design*) que [Dupin 2007] place au centre de son schéma heuristique, dans son état de l'art des courants qu'elle nomme « universaliste[s] » et montre donc le rattachement de ces courants à la conception centrée utilisateur (cf. figure 14).

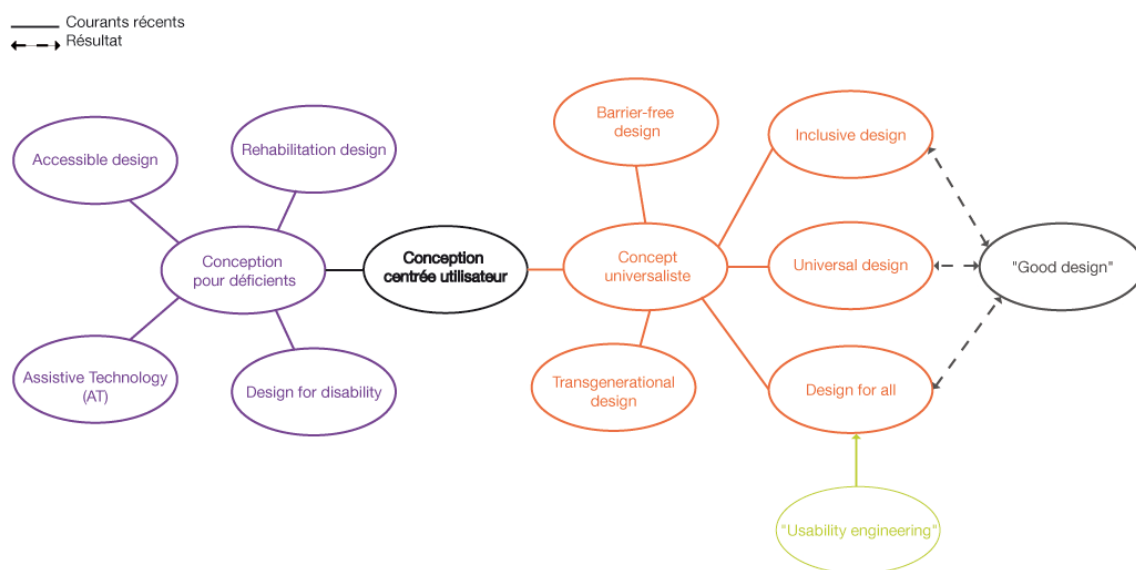


Figure 14. Schéma non exhaustif des divers concepts de conception centrée utilisateur d'après [Dupin 2007]

31. Traduction personnelle de « *Although initially driven by relatively small groups of people in the US, Europe and Japan responding to local conditions, this rapidly became international in character and influence* » [Coleman, Clarkson 2010].

32. Traduction personnelle de « *The key and common shift in thinking was to replace the view that people are disabled by physical and mental impediments with the more radical proposal that people are disabled by designs and environments that do not take account of the full range of human capabilities* » [Coleman, Clarkson 2010].

D'autres éléments caractérisent le processus de conception universelle, à savoir : la prise en compte de la diversité des utilisateurs en amont du processus ainsi qu'une démarche participative intégrée au processus de conception [Conte 2004]. De plus, le concepteur s'appuie sur les capacités physiques des utilisateurs et non sur leurs incapacités [Keates, Clarkson 2002].

Les résultats de ces approches sont facilement accessibles sur Internet, car la conception universelle est relayée via des sites d'associations, d'instituts spécialisés, etc. Dans ce document, nous étudions parmi les approches de conception universelle préalablement citées, l'Universal Design et l'Inclusive Design, car ces deux approches ont été modélisées par des théoriciens de la conception.

2.1.1.1. Universal Design à l'Université de Caroline du Nord ³³

La conception universelle est apparue sous la désignation « Universal Design » aux États-Unis en 1993. Ronald Mace, designer industriel et architecte, lui-même concerné par le problème d'accessibilité car atteint d'une poliomyélite, a défini les sept principes de l'Universal Design. Ces principes, relatifs à l'utilisation d'un produit, ont été largement diffusés à l'échelle internationale (cf. tableau 3) :

PRINCIPES	INTITULÉS	DÉFINITIONS
1	Utilisation équitable	La conception est utile et commercialisable auprès des personnes ayant différentes capacités.
2	Flexibilité d'utilisation	La conception peut être conciliée à une vaste gamme de préférences et de capacités individuelles.
3	Utilisation simple et intuitive	L'utilisation de la conception est facile à comprendre, indépendamment de l'expérience, des connaissances, des compétences linguistiques de l'utilisateur ou du niveau de concentration au moment de son utilisation.
4	Information perceptible	La conception communique efficacement à l'utilisateur l'information nécessaire, quelles que soient les conditions ambiantes ou les capacités sensorielles de la personne.
5	Tolérance à l'erreur	La conception minimise les dangers et les conséquences négatives de gestes accidentels ou involontaires.
6	Faible niveau d'effort physique	La conception permet une utilisation efficace et confortable, générant une fatigue minimale.
7	Dimensions et espace	La conception prévoit une taille et un espace

33. Center for Universal Design, college of design, North Carolina State University (États-Unis)
<http://www.design.ncsu.edu/cud>

libre pour l'approche et l'utilisation	adéquats au moment de s'approcher, de saisir, de manipuler et d'utiliser, quelles que soient les contraintes de taille, de posture ou de mobilité de l'utilisateur.
---	---

Tableau 3. Les sept principes de l'Universal Design

Ces sept principes sont définis avec plusieurs niveaux de détails [Story et al. 1998].

La définition de chaque principe décrit ci-dessus est le niveau le moins détaillé et le plus largement diffusé. En effet, dans l'ouvrage coécrit par Molly-Follette Story, Ronald Mace et James Mueller [Story et al. 1998], un deuxième chapitre intitulé « Understanding the Spectrum of Human Abilities » décrit les capacités cognitives, sensorielles et fonctionnelles des utilisateurs potentiels dans le but de prendre en compte la diversité de profils d'utilisateurs parmi la population globale. Un troisième chapitre décrit les sept principes et leurs applications (il s'agit de recommandations basées sur des exemples précis d'application).

Le principe n°4, qui est en lien direct avec notre sujet de recherche puisqu'il concerne l'information perceptible (« *perceptible information* »), vise à prendre en considération la variété des capacités humaines à percevoir des stimuli visuels. Cela inclut dans le chapitre 2 de « *percevoir les détails visuels clairement, porter son attention sur les objets proches ou éloignés, séparer les objets de leur environnement, percevoir les objets au centre ainsi que dans les angles, dans le champ visuel, percevoir les contrastes colorés et la brillance, s'adapter aux niveaux de luminosité trop ou pas assez intenses, suivre les mouvements des objets et juger des distances* »³⁴. La description de la diversité d'utilisateurs et de circonstances d'utilisation s'attache uniquement à la description des aspects visuels des produits à concevoir et non à leurs aspects tactiles. Dans le troisième chapitre, les recommandations concernant le quatrième principe indiquent « *qu'il faut utiliser différentes modalités (visuelle, verbale, tactile) afin de présenter de manière redondante les informations essentielles, maximiser la lisibilité des informations importantes, différencier les éléments pour qu'ils puissent être clairement identifiés (c'est-à-dire faciliter l'accès aux instructions ou aux directions) et assurer leur compatibilité avec une diversité de techniques ou*

34. Traduction personnelle de « [...] This includes : perceiving visual details clearly, focusing on objects up close and far away, separating objects from a background, perceiving objects in the center, as well as the edges, in the field of vision, perceiving contrasts in color and brightness, adapting to high and low lighting levels, tracking moving objects [and] judging distances » [Story et al. 1998].

*d'appareils utilisés par les personnes en situation de handicap sensoriel »*³⁵. Ces recommandations soulignent l'importance de faire appel aux intermodalités sensorielles pour transmettre une information. Cependant, elles restent dans le domaine des objectifs à atteindre sans décrire le moyen, le processus jalonné d'étapes qui permettra de garantir les résultats.

Même si l'Universal Design permet selon **[Vanderheiden 1996]** de concevoir des produits accessibles et utilisables par une plus grande diversité d'utilisateurs (avec ou sans dispositif d'assistance), suffisamment flexibles pour s'adresser aux besoins des utilisateurs novices et habitués, plus faciles à comprendre et à utiliser par la plupart d'entre eux dans davantage d'environnements et de situations³⁶, **[Plos et al. 2007]** affirment que, du point de vue méthodologique, « *peu de démarches ont été formalisées précisément dans la littérature en dehors de la reconception ou l'amélioration de produits existants* ». En effet, l'Universal Design énonce des objectifs précis à atteindre, mais aucune étape de conception n'est définie pour y aboutir. De plus, atteindre chacun des sept principes nécessite des connaissances suffisantes concernant les utilisateurs, ce que nous n'avons pas à ce stade de nos travaux de recherche. Par exemple, pour le principe n° 4 intitulé « *information perceptible* » (*perceptible information*), la prise en compte de différents profils d'utilisateurs (chapitre 2) et l'application des recommandations (chapitre 3) telles que décrites par **[Story et al. 1998]** nécessitent des connaissances précises sur les capacités perceptives des utilisateurs aveugles et amblyopes. Ces constats montrent les limites de cette approche dans notre contexte de recherche.

35. Traduction personnelle de « *Use different modes (pictorial, verbal, tactile) for redundant presentation of essential information, maximize "legibility" of essential information, differentiate elements in ways that can be described (i.e., make it easy to give instructions or directions) [and] provide compatibility with a variety of techniques or devices used by people with sensory limitations* » **[Story et al. 1998]**.

36. Traduction personnelle de « *Results in product designs [...] allow a greater variety of people to successfully access and use the product directly (or with any assistive device); allow the product to be used in a greater variety of environments or situations; are flexible enough to address the needs of both novices and power users; are easier for users in general to understand and use* » **[Vanderheiden 1996]**.

2.1.1.2. Inclusive Design à l'Université de Cambridge ³⁷

« Étendre la population-cible d'un produit ou d'un service pour y inclure autant d'utilisateurs que possible, sans compromettre les intérêts commerciaux et la satisfaction du client ³⁸. »

Voici la définition que proposent [Keates, Clarkson 2004] dans leur ouvrage. En effet, ce sont eux qui ont défini cette approche dès 1999 et dont les travaux de recherche sont aujourd'hui réalisés à l'Université de Cambridge ³⁹. Cette démarche est représentée graphiquement par l'Inclusive Design Cube (IDC) (cf. figure 15) :

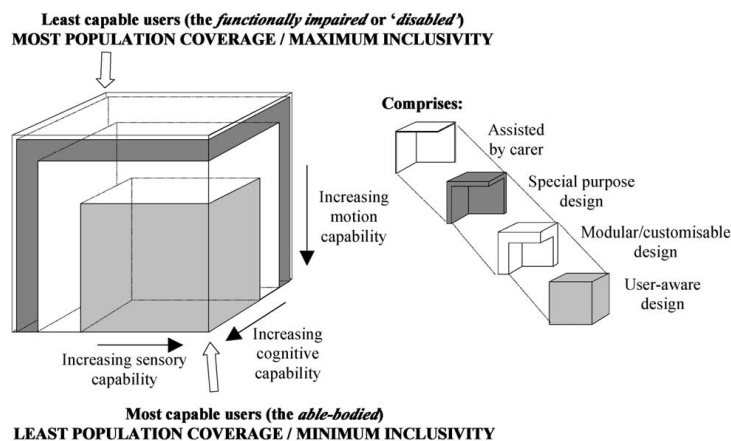


Figure 15. The Inclusive Design Cube

L'IDC représente graphiquement et en trois dimensions, par un principe de découpage en capacités, les besoins des personnes en situation de handicap moteur, cognitif et sensoriel ainsi que ceux des individus valides. L'ensemble de ces besoins sont représentés sur les arêtes du cube de la manière suivante : plus le nombre de

37. Université de Cambridge, laboratoire de conception de produits (Engineering Design Centre, UK) <http://www.eng.cam.ac.uk/inclusivedesign/index.php>

38. Traduction personnelle de « To expand the target group of a product or service to include as many as users as possible, without compromising the business goals of profit and customer satisfaction » [Keates, Clarkson 2004].

39. « The Engineering Design Centre (2010) prefers to promote the name “inclusive design” rather than “universal design” or “design for all” because businesses often literally, although incorrectly, interpret the latter names to advocate the design of one product to meet the needs of the entire population » [Hosking et al. 2010].

personnes concernées par le produit conçu est grand, plus le volume est important. En fonction du nombre d'utilisateurs concernés et de leurs capacités, les auteurs définissent plusieurs niveaux de conception :

- les produits grand public (« *User-aware design* ») destinés aux utilisateurs ayant toutes leurs capacités motrices, sensorielles et cognitives ;
- les produits modulables en fonction des capacités de l'utilisateur (« *Modular/customisable design* ») ;
- les produits spécialisés (« *Special purpose design* »).

Le découpage en trois volumes qui se superposent dans l'IDC a été inspiré par la pyramide d'utilisateurs (« *The User Pyramid* » représentée ci-dessous en haut, à gauche, figure 16). Elle répartit l'ensemble de la population en trois catégories : à sa base, les personnes sans handicap et celles avec des incapacités mineures ; au milieu, les individus avec une mobilité et une force réduite ; et, enfin, au sommet de la pyramide, les personnes dont le handicap est sévère. Cette répartition est à la base de deux approches :

1. L'approche « *Top-down* » dont l'objectif est de concevoir des produits spécifiques puis d'étendre les besoins à d'autres utilisateurs,
2. L'approche « *Bottom-up* » qui consiste à concevoir des produits grand public pour un maximum d'utilisateurs.

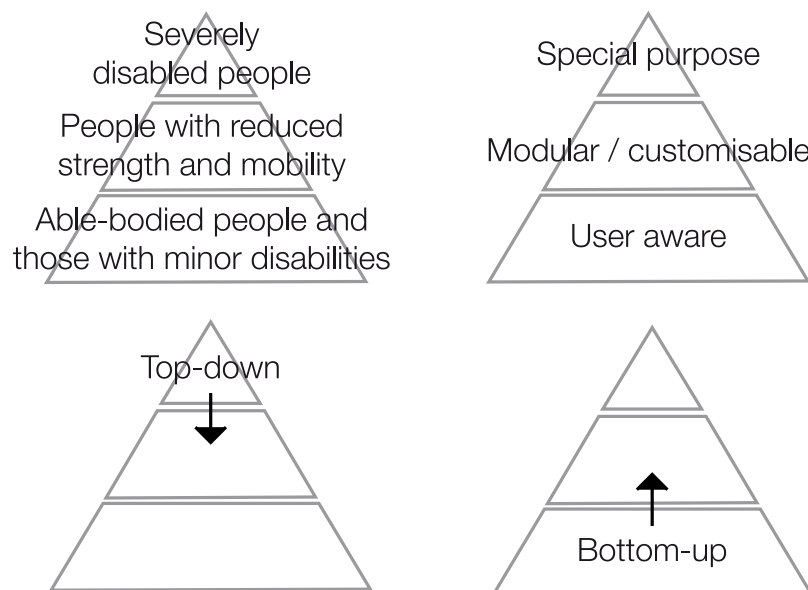


Figure 16. « *The User Pyramid* » (en haut, à gauche) qui a inspiré l'approche « *Top-down* » et « *Bottom-up* » (en bas)

À partir de cette représentation graphique, les auteurs proposent une démarche de conception en trois phases et sept niveaux (cf. figure 17) :

Phase (1) : définition du problème (« *Problem definition* »)

Phase (2) : définition du système (« *System definition* »)

Phase (3) : validation du système (« *System validation* »)

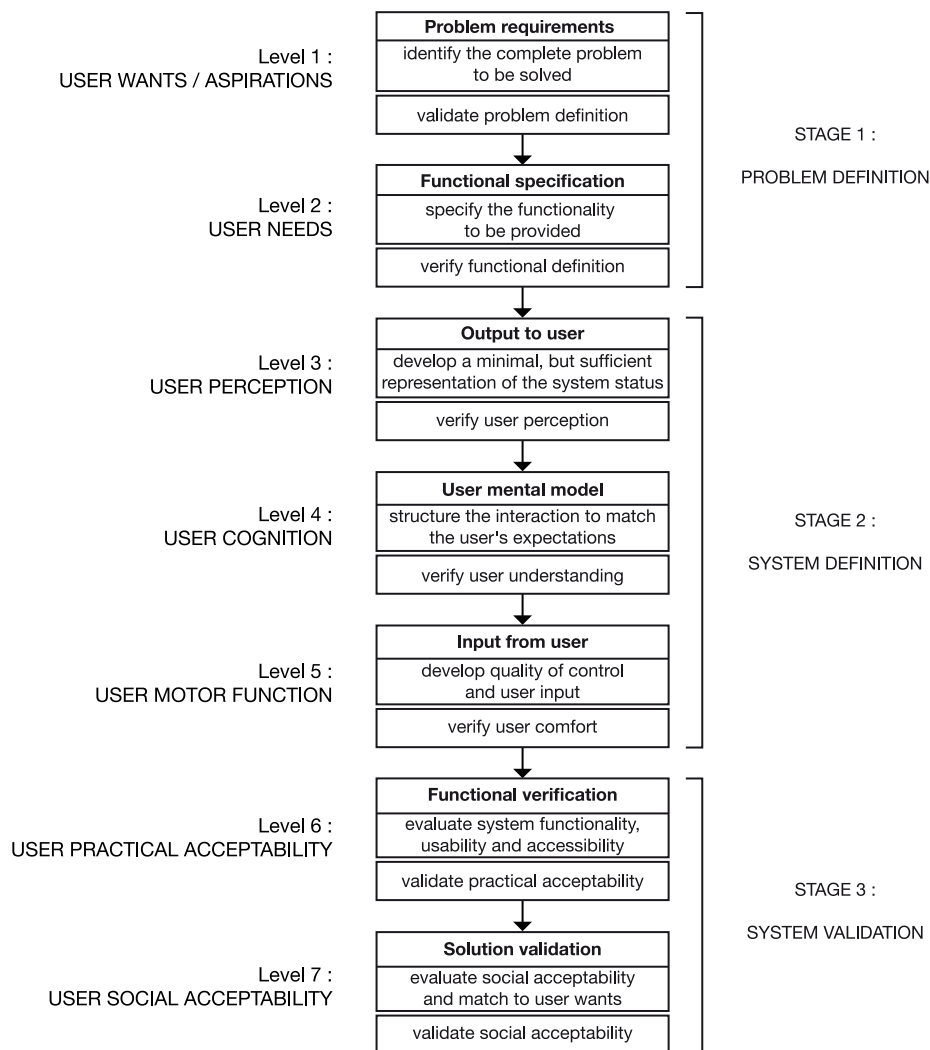


Figure 17. Démarche en trois phases et sept étapes

La première phase consiste à étudier les besoins des utilisateurs par la définition des spécifications autrement dit grâce à l'élaboration du cahier des charges. La phase (2) consiste à développer un système ⁴⁰ en prenant en compte les capacités cognitives,

40. Dans cette explication, le mot « système » pourrait être remplacé par l'expression « représentation

sensorielles et motrices des utilisateurs et à vérifier leur perception, leur compréhension et leur confort d'usage. Enfin, la troisième et dernière phase permet de valider le système développé par l'évaluation de l'acceptabilité fonctionnelle et sociale du produit.

L'Inclusive Design propose des objectifs ainsi qu'une démarche de conception relativement précise, mais nécessite aussi une connaissance suffisante des utilisateurs potentiels en vue de concevoir un produit dont les besoins seraient complémentaires à toute la population tels que les auteurs les décrivent dans l'IDC. L'étude de ce courant de conception universelle montre que nous devons, au préalable, analyser les besoins des utilisateurs aveugles et amblyopes pour les satisfaire et inclure leurs attentes parmi celles de la population globale. Ainsi, nous positionnons nos travaux de recherche en amont de ces démarches existantes (cf. figure 18).

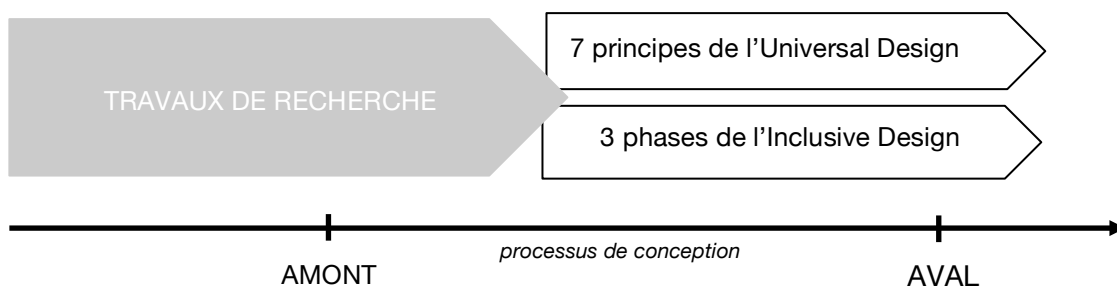


Figure 18. Positionnement de nos travaux de recherche par rapport aux démarches existantes étudiées

Alors que nous positionnons notre démarche de conception en amont des approches Universal Design et Inclusive Design existantes, nous constatons qu'il est nécessaire de prévoir un outil d'aide à la conception au sein de cette démarche sous la forme de prototypes/maquettes en 3D. Pour cette raison, nous nous intéressons aux typologies de représentations intermédiaires utilisées au cours du processus de conception universelle étudié : dans l'Inclusive Design, nous notons que le produit évalué est généralement matérialisé sous la forme d'une maquette ou d'un prototype fonctionnel. Nous étudions plus précisément dans la prochaine partie de notre document les représentations intermédiaires qui constituent donc des outils dans l'activité de conception afin de caractériser davantage ces prototypes et/ou maquettes à concevoir au cours de ces processus.

intermédiaire explicite », telle que définie en partie 2.1.2.

2.1.2. Les représentations intermédiaires dans l'activité de conception

Nous définissons comme *représentations intermédiaires* l'ensemble des représentations qui apparaissent au cours du processus de conception [Bouchard et al. 2005], ce qui inclut les représentations mentales individuelles, collectives et *les objets intermédiaires* ⁴¹ [Papadimitriou, Pellegrin 1997] [Mer et al. 1995] [Vinck 2006] [Gregori et al. 1997] [Vinck 2009] définis par [Boujut, Laureillard 2002] comme regroupant tous les types d'objets physiques (plans, maquettes, croquis, etc.) ou virtuels (CAO, résultats de calculs, etc.) produits par les participants au cours de leurs travaux [de conception], c'est-à-dire tous types d'externalisation ⁴². Parmi l'ensemble des représentations intermédiaires existantes, nous centrons notre recherche sur les représentations intermédiaires explicites en 3D (maquettes et/ou prototypes), car les capacités sensorielles des utilisateurs aveugles et amblyopes nous amènent à concevoir des représentations tactiles en vue de réaliser nos expérimentations. Nous focalisons notre recherche sur les typologies de représentations intermédiaires physiques, car notre objet de recherche, qui consiste à s'interroger sur la manière de concevoir des représentations tactiles d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel, nécessite un outil d'aide à la conception.

[Mer et al. 1995] rappellent que les objets intermédiaires ont deux fonctions indissociables, à savoir :

- modéliser la réalité ;
- permettre la coordination et la coopération entre les acteurs du projet.

Dans notre recherche, nous nous intéressons à ces deux aspects sachant que nous définissons comme acteurs du projet les utilisateurs aveugles et amblyopes qui participent, dans le cadre d'une démarche expérimentale, à l'élaboration des représentations tactiles.

[Gregori et al. 1997] constatent que les objets intermédiaires servent aussi à « *stabiliser du sens* » et à organiser les actions à venir. [Laureillard et al. 1997] soulignent le fait que les objets intermédiaires « *matérialisent des décisions tout en donnant prises aux autres* ». Ils définissent un cadre théorique, un espace situé à la

41. « *Intermediary objects of design (IODs)* »

42. Traduction personnelle de « *Intermediary object is a general category embracing all types of artefacts, whether physical (plans, mock-ups, sketches, etc.) or virtual (CAD models, calculation results, etc.), produced by the participants during their work. In other words, it covers all kinds of externalisation* » [Boujut, Laureillard 2002].

frontière de plusieurs métiers, partagé entre plusieurs acteurs, désigné comme des « *entités de coopération* » et constitué par des objets intermédiaires qui ont plusieurs rôles (médiateurs, traductions, représentations et facilitateurs) parce qu'ils permettent l'échange en matérialisant des décisions prises et en les confrontant aux contraintes relatives à chaque métier. Ces « *entités de coopération* » sont des objets-frontières comme les définissent [Star, Griesemer 1989], car ils appartiennent à un métier mais sont nécessaires au travail des autres. Ces « *entités de coopération* » caractérisent donc le rôle particulier des objets intermédiaires dans des processus de conception collaboratifs [Detienne et al. 2004].

Dans ses études, [Carlile 2002 ; 2004] s'inspire des quatre catégories (« *repositories, ideal type, coincident boundaries, standardized forms* ») identifiées par [Star, Griesemer 1989] dans le cadre d'une étude de cas sur les mécanismes de coordination du travail scientifique. [Carlile 2002 ; 2004] détermine trois catégories d'objets-frontières au cours du processus de conception : les répertoires (« *repositories* »), les méthodes et les formes standardisées (« *standardized forms and methods* ») ainsi que les objets, maquettes et plans (« *objects, models and maps* ») (cf. synthèse dans le tableau 4).

CATÉGORIES	DÉSIGNATIONS	EXEMPLES
Catégorie 1	« <i>repositories</i> »	- cost databases - CAD / CAM databases - parts libraries
Catégorie 2	« <i>standardized forms and methods</i> »	- standars for reporting findings - problem-solving methods - engineering change forms
Catégorie 3	« <i>objects, models and maps</i> »	- sketches - assembly drawings - parts - prototype assemblies - mock-ups - computer simulations - Gantt charts - process maps - workflow matrices

Tableau 4. Catégorisation des objets-frontières

La classification de **[Carlile 2002 ; 2004]** est relative à l'organisation du processus de conception. En effet, ces objets-frontières sont classés par fonctions, du point de vue du concepteur qui les utilise au cours du processus de conception, mais cette classification ne décrit pas les caractéristiques intrinsèques de ces objets-frontières. Par exemple, son classement indique que les maquettes ou « *mock-ups* » figurent dans la catégorie 3 intitulée « *objects, models and maps* ». Il ne nous donne aucune information quant à leurs contenus, leurs fonctions étant uniquement décrites au cours du processus de conception sans détailler ce qu'elles permettent de valider par exemple.

[Mer et al. 1995] proposent d'étudier les objets intermédiaires selon deux axes complémentaires :

- un premier axe : « *objet commissionnaire* » / « *objet médiateur* ».
« *L'objet commissionnaire* » transmet l'idée, l'intention fidèle de son concepteur alors que « *l'objet médiateur* » modifie l'intention initiale du concepteur de part sa matérialisation **[Vinck 2009]**. Il est dit « *médiateur* » car il prend place entre l'idée du concepteur (sa représentation mentale) et l'usage fait par le récepteur de l'objet intermédiaire **[Mer et al. 1995]**. Ces auteurs décrivent les interactions qui existent entre l'objet et l'utilisateur pour expliquer cet axe. Ainsi « *l'acteur utilisant un objet commissionnaire est en interaction, à travers l'objet, avec les intentions, les idées du producteur de l'objet même si elles sont quelque peu déformées. En revanche l'utilisateur d'un objet médiateur est en interaction avec l'objet lui-même. Dans cette situation, l'objet devient "acteur". Il médiatise, au moins partiellement, le processus de conception antérieur. Représentant une partie de la conception, il fonctionne cependant "par lui-même" et agit comme un acteur à part entière* ». Pour illustrer « *l'objet médiateur* », **[Vinck 06]** donne l'exemple de plusieurs objets produits où leur reconstruction pour en fabriquer un nouveau nécessite une opération de traduction au cours de laquelle les acteurs changent de mode d'expression, ce qui entraîne la déformation de l'idée initiale.
- un second axe complémentaire au premier : « *objet ouvert* » / « *objet fermé* ».
« *L'objet ouvert* » est un objet intermédiaire qui peut être modifié. À l'inverse, « *l'objet fermé* » ne permet aucune modification. Selon **[Mer et al. 1995]** « *La notion d'ouverture est liée à un objet laissant à l'utilisateur une marge de manœuvre au sein de laquelle il peut plus ou moins diverger. En revanche, un objet fermé diminue et tend à faire disparaître cette marge de manœuvre. L'objet ouvert incite à un travail*

d'interprétation, tandis que l'objet fermé transmet une prescription. »

Les auteurs organisent les objets intermédiaires selon deux axes complémentaires qui décrivent le rôle de ceux-ci du point de vue du concepteur. Sur ce point, **[Mer et al. 1995]** rejoignent donc **[Carlile 2002 ; 2004]**. Toutefois **[Mer et al. 1995]** apportent une dimension supplémentaire en mettant en perspective les objets intermédiaires par rapport aux utilisateurs, aux différents acteurs du projet. Les axes définis par **[Mer et al. 1995]** font, en effet, intervenir l'utilisateur qui interagit avec les objets intermédiaires conçus au cours du processus de conception.

[Bassereau et al. 2003] proposent une typologie complémentaire aux classifications précédemment citées. Ils classent les représentations intermédiaires en fonction du nombre de dimensions représentées : le dessin, le croquis, la nomenclature, le rough, la perspective, le cahier des charges, l'interview, le brief étant regroupés dans la catégorie 2D et la maquette et le prototype parmi les représentations en 3D. Au sein de ces deux catégories (2D/3D), ils énumèrent les modes de représentation en fonction de leurs niveaux de représentation associés aux représentations intermédiaires, autrement dit en fonction de leurs niveaux de précision (qui est variable et généralement croissant au cours du processus de conception). Chaque mode de représentation se référant à un espace de représentation particulier, c'est-à-dire à un niveau cognitivo-perceptif différent. Parmi les représentations intermédiaires en 3D, **[Bassereau et al. 2003]** introduisent le concept de *maquettes « bonnes sensations »*⁴³, car ils constatent que seuls les attributs techniques de l'objet sont représentés à l'exception des aspects visuels liés à la forme et à la couleur représentés sous forme de maquettes d'aspects (mode de représentation adopté par les designers). Les auteurs proposent d'intégrer les connaissances relatives aux techniques d'analyse de la perception humaine (l'analyse sensorielle⁴⁴) pour évaluer la perception du consommateur par l'intermédiaire d'une nouvelle typologie de maquettes dont le rôle est de valider les aspects perçus par le consommateur (cf. tableau 5). **[Vinck 2006]** souligne d'ailleurs les échanges fructueux autour des maquettes, car les personnes interrogées ont la possibilité d'exprimer ce que cela leur évoque et de poser des questions relatives à l'usage, à la fiabilité, aux fonctions, etc.

43. Hypothèses de sensations qui seront perçues par l'utilisateur, matérialisées à l'aide de ces maquettes.

44. Cf. la définition de l'analyse sensorielle en page 32 du document **(NF EN ISO 5492)** décrite dans le premier paragraphe).

MAQUETTES BONNES SENSATIONS	PROPRIÉTÉS	FONCTIONS AU COURS DU PROCESSUS DE CONCEPTION
« <i>Bon toucher</i> »	Bonnes sensations somesthésiques	Validation de la matière, sa mise en forme et ses états de surface
« <i>Bonne sonorité</i> »	Bonnes sensations sonores	Validation de la matière, sa mise en forme et ses états de surface
« <i>Bonne densité</i> »	Bon rapport poids, volume perçu	Validation de sa matière, sa mise en forme
« <i>Bonne répartition des masses</i> »	Lors de la prise en main, bonne répartition des composants	Validation de la matière, sa mise en forme et son architecture
« <i>Bonne prise en main</i> » « <i>Bons gestes</i> »	Interface individu maquette validée	Validation de la matière, sa mise en forme
« <i>Bonne brillance</i> » « <i>Bonne texture</i> »	Bons aspects visuels et tactiles autres que sensations colorées	Validation de la matière, sa mise en forme et ses états de surface

Tableau 5. Typologie des maquettes « bonnes sensations »

[Bassereau et al. 2003] intègrent la perception tactile de l'utilisateur au travers de la conception de maquettes « *bon toucher* » pour valider la matière, la mise en forme et les états de surface ainsi que d'autres maquettes spécifiques à chaque modalité sensorielle (cf. tableau 5). Parmi les maquettes « *bon toucher* », nous définirions une catégorie de maquettes dont l'objectif serait non seulement de valider la matière, la mise en forme et l'état de surface mais aussi la compréhension et la lisibilité, car, comme l'explique [Vinck 2006], « *une maquette physique ou virtuelle n'est pas un objet brut, simplement réaliste. Elle est, au contraire, toujours conçue en fonction d'une perspective, de quelque chose à montrer, à explorer ou à tester* ». Dans notre projet, elle permettrait de valider deux critères : la lisibilité et la compréhension des représentations explorées tactilement par les utilisateurs.

2.1.3. Limites de ces données théoriques dans notre périmètre de recherche

Trois constats sont mis en évidence dans l'étude de l'Universal Design et de l'Inclusive Design. Tout d'abord, l'Universal Design ne propose pas de recommandations précises sur les aspects tactiles des informations qui doivent être perceptibles (principe n° 4). Ensuite, l'Universal Design n'énonce pas de démarche formalisée qui permettrait d'aboutir aux sept principes relatifs à l'utilisation du produit alors que l'Inclusive Design propose un modèle de processus de conception détaillé. Globalement, l'Universal Design et l'Inclusive Design sont des démarches de conception universelle qui nécessitent de connaître au préalable les besoins des

utilisateurs afin de les intégrer parmi ceux de la population globale. Or, à ce stade de nos travaux, nous ne disposons pas de connaissances suffisantes sur les usagers en situation de handicap visuel. Pour définir leurs besoins, nous nous positionnons en amont de ces approches au sein d'une démarche dont il faut définir les étapes.

Au sein de la démarche à mettre en place en amont des processus de conception universelle, nous devons prendre en compte leurs capacités perceptives liées à la modalité sensorielle tactile à l'aide d'un outil d'aide à la conception : les représentations intermédiaires en 3D. Ces prérequis nécessitent le recueil de données théoriques issues de notre recherche bibliographique qui complète ces deux premiers thèmes abordés.

2.2. La perception des utilisateurs aveugles et amblyopes dans la conception de supports tactiles

Pour **[Bagot 99]**, la perception est :

« Le résultat d'une interprétation des informations sensorielles [...] qui nécessite l'intégration de plusieurs sensations sur lesquelles l'individu effectue un choix, prend une décision, en fonction de ses connaissances antérieures, de ses attentes ou expectations, [...] de ses motivations cognitives et affectives, des coûts et des gains éventuels liés à sa décision perceptive. La perception n'est donc pas une réponse exclusivement déterminée par la stimulation, puisqu'elle met en jeu des processus actifs d'organisation, des constructions perceptives, impliquant l'intentionnalité du sujet. »

La perception est le résultat d'un acte cognitif complexe puisque l'individu agit sur les sensations qu'il perçoit, en fonction de son expérience antérieure et de l'environnement physique dans lequel il se situe. **[Bassereau 2009]**⁴⁵ rejoint **[Bagot 1999]** puisqu'il évoque l'interprétation, le jugement qui intervient au cours du processus de perception et qui en fait une variable interindividuelle forte.

Inversement, la perception permet de découvrir l'environnement dans lequel l'individu évolue, car, comme l'explique **[Bonnet 1986]**, il s'agit aussi de « l'ensemble des

45. « Percevoir, c'est percevoir des choses en particulier, dans des contextes et situations particulières. La perception n'est pas une activité générale. La perception n'est pas non plus une activité passive, mais toujours une interprétation, un jugement » **[Bassereau 2009]**.

mécanismes et des processus par lesquels l'organisme prend connaissance du monde et de son environnement sur la base des informations élaborées par les sens ». Ainsi, les personnes amblyopes explorent leur environnement grâce au toucher, à la kinesthésie, à l'ouïe, à l'odorat et à la vue (en fonction de leur degré de malvoyance) alors que les personnes aveugles identifient les objets et l'espace dans lequel elles se situent par des informations d'origines tactiles et kinesthésiques ⁴⁶, sonores et olfactives.

Nous présentons dans ce document les études menées en particulier sur la modalité sensorielle tactile, car il s'agit de la modalité sensorielle à laquelle les personnes aveugles ont le plus recours [Révész 1950] [Hatwell 2003] tandis que les personnes amblyopes ont recours à la modalité sensorielle tactile et/ou visuelle en fonction de leur degré de malvoyance. Dans cette partie de document, nous synthétisons des études menées notamment sur la perception tactile des objets et des dessins en relief.

2.2.1. La localisation et l'identification des objets

Pour qu'un objet soit perçu haptiquement, il doit être en contact avec les récepteurs cutanés de l'individu dont les plus nombreux se situent sur la pulpe des doigts (alors que ces récepteurs sont moins nombreux sur la deuxième phalange et sur la paume de la main) [Johansson, Vallbo 1979 ; 1983]. Toutefois, ce contact ne suffit pas à identifier l'objet, car deux étapes sont nécessaires : il faut d'abord extraire les propriétés de l'objet puis les traiter en vue de sa reconnaissance [Richard et al. 2004]. Pour en extraire les propriétés, [Lederman, Klatzky 1987 ; 1993] ont décrit huit procédures exploratoires manuelles qui permettent d'obtenir des informations tactiles sur les objets explorés dont les six premières sont basées sur les propriétés matérielles et géométriques et les deux dernières sont en lien avec les propriétés fonctionnelles :

- « *le frottement latéral* » qui permet d'obtenir des informations quant à la texture de l'objet ;
- « *le soulèvement* » qui permet d'identifier son poids ;
- « *la pression* » qui permet de connaître la dureté du matériau ;
- « *le contact statique* » qui informe essentiellement sur la température du matériau et,

46. La perception tactile est l'ensemble des informations transmises par les récepteurs cutanés. La perception kinesthésique regroupe les informations transmises grâce aux positions, aux mouvements du corps (en position statique et dynamique) et aux efforts musculaires. La perception haptique est à la fois la perception tactile et kinesthésique [Loomis, Lederman 1986].

plus approximativement, sur la forme, la taille, la texture et la dureté ;

- « *l'enveloppement* » qui donne aussi des informations globales sur ces mêmes propriétés ;
- « *le suivi des contours* » qui informe de la forme et de la taille et une connaissance exacte de la texture et de la dureté ;
- « *function testing* » ;
- « *part motion test* », mais qui ne concernent que certains objets.

Pour l'identification de formes d'objets, **[Hatwell 2007]** indique que les procédures exploratoires les plus efficaces sont « *le soulèvement* », « *l'enveloppement* » et « *le suivi des contours* ». « *Le suivi des contours* » étant précis mais lent tandis que « *le soulèvement* » et « *l'enveloppement* » donnent des informations rapides mais plus globales et qui concernent plusieurs propriétés. La combinaison des deux procédures exploratoires énoncées étant la plus performante. Si la forme intervient dans l'identification haptique des objets familiers, **[Klatzky, Lederman 2000]** montrent également que les propriétés de texture, de rigidité, de température et de poids jouent un rôle important et se combinent à la forme dans l'identification tactile de l'objet.

Les personnes en situation de handicap visuel ont un champ perceptif réduit à cause du caractère séquentiel de la modalité sensorielle tactile **[Cattaneo et al. 2008]** **[Gentaz, Hatwell 2000]** **[Hatwell, Martinez-Sarocchi 2000]**. En effet, dans l'exploration tactile, les personnes aveugles découvrent les objets qui les entourent grâce à leurs deux mains (leur champ perceptif est donc égal à la taille de la pulpe de leurs dix doigts). En raison du champ perceptif exigu, elles doivent effectuer des mouvements d'exploration ⁴⁷ pour obtenir des informations tactiles leur permettant d'identifier l'objet exploré. Ainsi, **[Gaunet et al. 1997 cités par Hatwell 2000]** définissent deux modes d'exploration : l'exploration en « *va-et-vient* » où la main parcourt par allers-retours successifs les objets par deux et l'exploration « *cyclique* » où la main explore un objet, qui se déplace en suivant un parcours circulaire pour revenir sur le premier repéré dans l'espace de préhension (cf. figure 19).

47. Yvette Hatwell ajoute : « *Ce qui saute aux yeux ne saute pas aux mains.* »

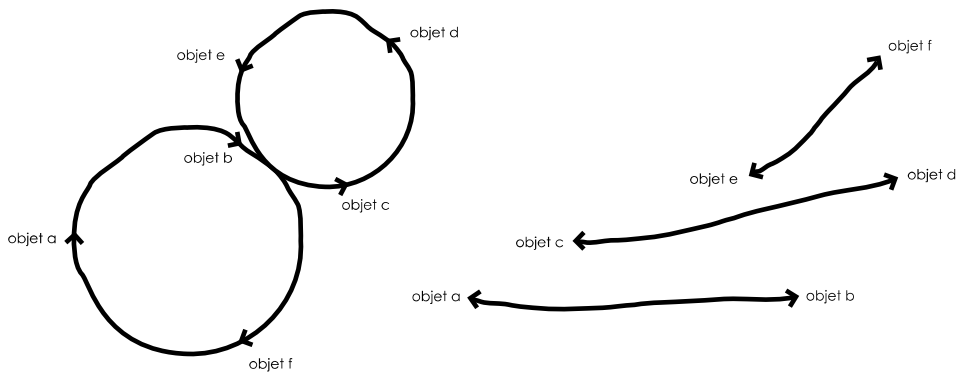


Figure 19. Exemple de parcours « cyclique » et en « va-et-vient » des objets explorés

Les informations tactiles successives obtenues permettent aux personnes en situation de handicap visuel d'obtenir une idée globale de l'objet exploré, car la perception tactile de l'espace est moins synthétique que la visuelle. **[Hatwell 2003]** évoque une « *représentation mentale de l'espace égocentrée* » du toucher. Ce système consiste à se prendre soi-même comme référence au sein de l'espace. Une autre façon de localiser un objet consiste à le situer par rapport à d'autres au sein de l'environnement indépendamment de la position statique et/ou dynamique du sujet qui explore : il s'agit d'un système de référence allocentré, basé sur des repères extérieurs **[Hatwell 2003]** qui est caractéristique de la perception visuelle.

2.2.2. L'estimation dimensionnelle des objets

[Smith et al. 2005] ont publié une étude à propos du dimensionnement d'objets familiers par les personnes aveugles. Dans cette étude, les auteurs réalisent cinq expérimentations préliminaires avec des sujets voyants qui ont les yeux bandés. Ces expérimentations révèlent, à chaque fois, une surestimation de la taille des objets explorés pour lesquels les participants donnent une réponse bi-manuelle, à l'aide de l'empan après une exploration haptique des objets familiers présentés. Ils organisent une sixième expérimentation avec vingt-quatre participants aveugles (congénitaux et tardifs) et vingt-quatre sujets voyants. Les résultats montrent que le groupe composé de personnes aveugles est proche des dimensions réelles des dix objets familiers, contrairement au groupe de voyants qui surestime leurs dimensions.

Une étude, menée par **[Andreou, Kotsis 2005]** auprès de soixante-dix-huit élèves de 9 à 13 ans, vise à explorer la manière dont les enfants voyants et aveugles estiment et mesurent les surfaces, les volumes et les longueurs. Pour cela, les auteurs ont rédigé un questionnaire à choix multiples dont les réponses sont notées « correct »,

« incorrect » ou bien « sans réponse », puis sont calculées en pourcentage. Les deux premières questions sont relatives au nombre de pas à faire pour parcourir la longueur de la classe, de la porte jusqu'au côté opposé et/ou au nombre de mètres que représente la longueur de la classe, de la porte jusqu'au côté opposé. Les réponses à ces deux questions montrent que les enfants aveugles conceptualisent mieux le principe de mesure que les enfants voyants. En utilisant le mètre comme unité de mesure, les enfants, qu'ils soient voyants ou aveugles, éprouvent des difficultés. Toutefois, les élèves aveugles semblent rencontrer moins de problèmes en utilisant le nombre de pas comme unité de mesure (cf. tableau 6).

RÉPONSES	Élèves aveugles (n = 23) (%)		Élèves voyants (n= 55) (%)	
	Unité en nombre de pas	Unité en mètres	Unité en nombre de pas	Unité en mètres
correct	90	39	65	26
incorrect	10	19	28	63
sans réponse	0	42	7	11

Tableau 6. Réponses des élèves aveugles et voyants concernant la longueur de leur classe

Aux deux questions suivantes : « À combien de pas correspond la largeur de la porte de la classe ? Combien de mètres mesure la largeur de la porte de la classe ? », nous pouvons observer que les réponses données par les enfants non-voyants sont très souvent exactes (cf. tableau 7).

RÉPONSES	Élèves aveugles (n = 23) (%)		Élèves voyants (n= 55) (%)	
	Unité en nombre de pas	Unité en mètres	Unité en nombre de pas	Unité en mètres
correct	81	73	63	61
incorrect	19	4	34	28
sans réponse	0	23	3	11

Tableau 7. Réponses des élèves aveugles et voyants concernant la largeur de la porte d'entrée de leur classe

Pour les auteurs de cette étude, les enfants aveugles ont besoin de dimensionner les objets et l'espace qui les entourent au cours du processus d'identification et de les garder en mémoire. C'est pour cette raison qu'ils donnent davantage de réponses correctes que les enfants voyants, particulièrement lorsqu'ils expriment des réponses basées sur le nombre de pas.

2.2.3. L'identification tactile des représentations en relief

[Shimizu et al. 1993] montrent que la représentation tactile de dix objets usuels (une bouteille, un visage, une pomme, une main, un poisson, une cerise, une paire de ciseaux, une fourchette, une bouilloire et une prise) est mieux identifiée par les aveugles précoces quand elle est représentée par une surface (un aplat comme indiqué figures 20 – à droite – et 21) associée à un relief d'environ 10 millimètres plutôt qu'une représentation où le relief des contours de l'objet est moins marqué et égal à 1,5 millimètre (cf. figures 20 – à gauche – et 21). Mais, chez les aveugles tardifs et les voyants travaillant sans voir, il n'y a pas de différence entre les deux types de dessins (cf. figure 21).

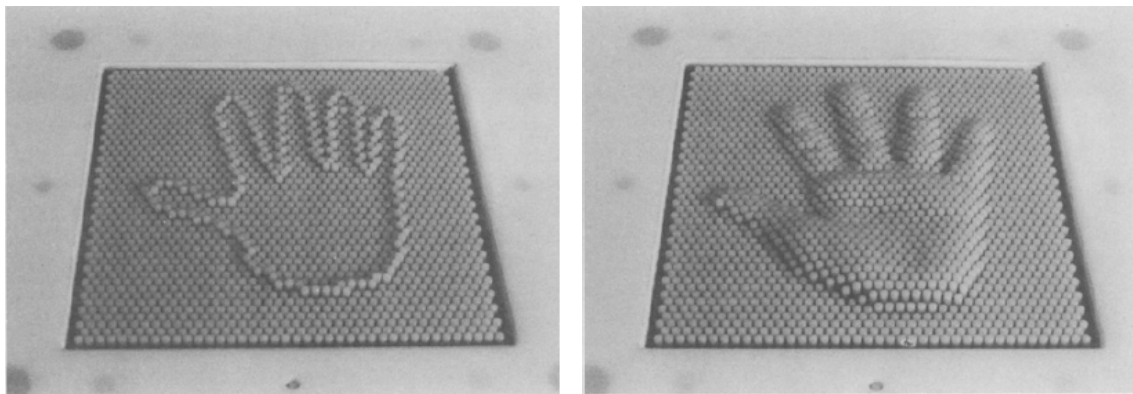


Figure 20. Photographies des deux représentations (par contours à gauche et par surface à droite)

SUJETS	PAR CONTOURS	PAR SURFACE
Aveugles tardifs	87,8 %	88,3 %
Aveugles congénitaux	61,7 %	71,1 %
Voyants	95,5 %	98,0 %

Figure 21. Comparaison des deux représentations en pourcentage de réponses correctes pour chaque groupe

L'identification tactile de dessins en relief ne repose que sur la perception de la forme et de la texture grâce, surtout, au suivi des contours. Il s'agit d'une procédure exploratoire lente qui nécessite de mémoriser les données à intégrer de manière successive [Hatwell 2007]. Les textures des objets sont souvent arbitraires et ne correspondent pas à la texture réelle des objets représentés, ce qui rend le dessin très peu ressemblant tactilement à ce qu'il représente. Cela consiste à introduire un code dont la signification doit être apprise [Hatwell 2007]. C'est principalement sur la forme que peut se fonder l'identification des dessins tactiles en relief, autrement dit par un trait de contours en relief. Or il existe une grande ambiguïté dans les relations entre ce qui est la figure et ce qui est le fond. Cette ambiguïté est levée quand on ajoute des indices de textures [Hatwell 2007].

[Thompson et al. 2006] proposent la traduction tactile de huit objets usuels (figures 22 et 23). Pour cela, ils choisissent de les représenter en vue frontale (comme le parapluie), en vue isométrique (comme la casserole) ou bien « développés » (cf. la chaise parmi les huit objets). Chaque dessin est représenté tactilement par un trait de contours et par une trame codifiée en relief, en fonction de l'orientation du volume réel dans l'espace (les lignes parallèles verticales représentent une surface orientée dans le plan vertical, les lignes horizontales parallèles entre elles représentent une surface horizontale et les lignes courbes parallèles représentent une surface convexe ou concave). Trois objets sont représentés à l'aide de trames complémentaires : des trames quadrillées pour représenter un matériau solide (le carénage du téléphone), une surface en relief pour représenter un matériau souple (les touches du téléphone) ou encore la combinaison des deux.

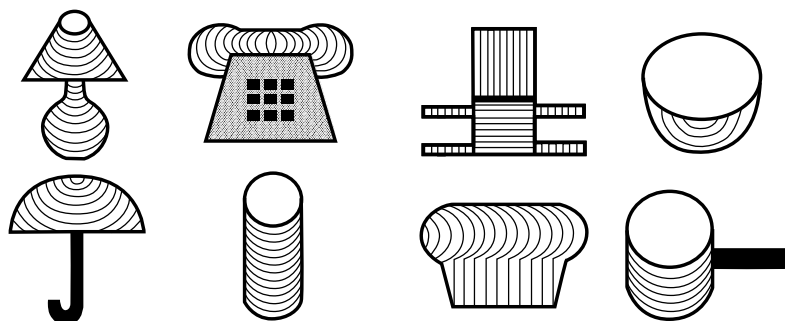


Figure 22. Taxyform (des huit illustrations « réalistes »)

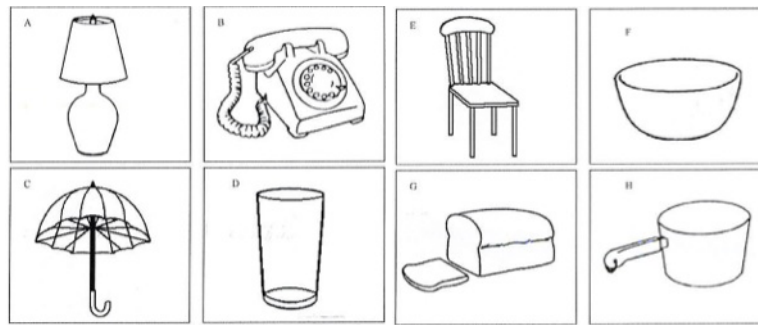


Figure 23. Les huit illustrations « réalistes »

Quarante-deux personnes participent à l'évaluation de Taxyform et des représentations réalistes dont quatorze aveugles congénitaux, quatorze voyants aux yeux bandés et quatorze aveugles tardifs. Les résultats de cette étude montrent que les représentations Taxyform sont plus rapidement et mieux identifiées que les représentations réalistes au sein des trois groupes.

2.2.4. Limites de ces données théoriques dans notre périmètre de recherche

En synthèse, nous constatons que plusieurs points montrent que la perception visuelle est différente de la perception tactile comme le met en évidence ce tableau de synthèse (cf. tableau 8) :

PERCEPTION VISUELLE	PERCEPTION TACTILE
Simultanée [Cattaneo et al. 2008] [Gentaz, Hatwell 2000] [Richard et al. 2004]	Séquentielle [Cattaneo et al. 2008] [Gentaz, Hatwell 2000] [Hatwell, Martinez-Sarocchi 2000]
Représentations d'objets majoritairement visuelles [Richard et al. 2004]	Images mentales basées sur des informations tactiles [Cornoldi, Vecchi 2000]
Les propriétés géométriques pour une exploration visuelle [Klatzky, Lederman 2000]	Les propriétés matérielles comme la texture, la dureté et la température apparente constitueraient des indices importants dans l'identification haptique. [Klatzky, Lederman 2000]
Champ [perceptif visuel] périphérique [Hatwell 2003]	Exiguïté du champ perceptif tactile [Hatwell 2003] [Hatwell, Martinez-Sarocchi 2000]
Représentation mentale spatiale allocentrée (basée sur des repères extérieurs) [Hatwell 2003]	Représentation mentale spatiale égocentrée (basée sur l'expérience de son corps) [Hatwell 2003]

Tableau 8. Comparaison entre la perception visuelle et tactile

Ainsi, le toucher se distingue de la vision par son caractère séquentiel en raison du champ perceptif tactile réduit (égal à la taille de la pulpe de chaque doigt) lié au geste qui permet, par étapes successives, de construire des images mentales fondées sur des données tactiles telles que la texture, la dureté et la température qui sembleraient être des éléments d'identification tactile. A contrario, la modalité sensorielle visuelle est caractérisée par une reconnaissance rapide des objets, grâce à leurs propriétés géométriques, un champ perceptif visuel périphérique et une représentation mentale de l'espace allocentrée.

Les informations recueillies dans notre document concernent essentiellement les personnes aveugles. Dans notre projet de recherche, nous étendons les données théoriques relatives à la perception tactile des personnes non-voyantes aux personnes amblyopes.

Les données qualitatives synthétisées dans ce document sont issues essentiellement de la psychologie qui a pour objet notamment l'étude des personnes aveugles. Pour notre projet de recherche, nous devons donc transférer ces données relatives à l'être humain vers la conception de produits. Nous devons « traduire » ces informations relatives aux comportements, aux besoins des personnes aveugles et amblyopes en hypothèses et sous-hypothèses de représentations tactiles.

2.3. État de l'art des supports audio et/ou tactiles conçus pour les personnes aveugles et amblyopes

2.3.1. L'accès aux documents écrits : le braille

Comme le texte « en noir » (ainsi nommé pour les voyants), les aveugles et les amblyopes sévères ont accès aux documents écrits grâce au braille qui est un système normalisé de points mis en relief à l'aide de différents procédés (> cf. [partie 2.3.3](#)). Développé par Louis Braille au XIX^e siècle, le braille est devenu un système universel pour transcrire les lettres, la ponctuation, les chiffres et les notes musicales. Il repose sur plusieurs principes :

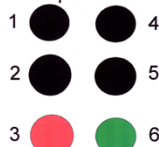
- *le point* qui est l'élément premier du braille ;
- la combinaison d'un ou de plusieurs points compose *le signe* ;
- *le signe* s'inscrit dans un rectangle nommé « *la cellule* » ;
- *la cellule* comporte six points disposés dans deux colonnes de trois points ;
- la signification des signes dépend du nombre et de la position des points ;

- la cellule est faite de points qui, chacun, portent un numéro pour en faciliter le repérage ;
- la numérotation des points se fait de haut en bas et de gauche à droite ;
- les points situés dans la colonne de gauche portent les numéros 1, 2 et 3 ;
- les points situés dans la colonne de droite portent les numéros 4, 5 et 6 ;
- les signes se voient associer les numéros des points qui les composent.

L'alphabet braille français est composé de quarante lettres (dont les accents aigus, graves, circonflexes, le tréma et la cédille), de nombres, de signes de ponctuation, de symboles et de caractères spéciaux disposés sur quatre lignes de dix lettres chacune comme cela est expliqué figure 24 :

- La première ligne est la matrice, autrement dit la ligne de référence, à partir de laquelle sont formées les trois autres. Elle n'utilise que les points situés dans les deux-tiers supérieurs (la cellule 1, 2, 4 et 5). Les deux points 3 et 6, absents de la première ligne, sont ajoutés pour construire les trois autres lignes de l'alphabet ;
- les signes de la deuxième ligne sont ceux de la première ligne ajoutés au point 3 ;
- les signes de la troisième ligne sont ceux de la première ligne ajoutés aux points 3 et 6 ;
- les signes de la quatrième ligne sont ceux de la première ligne ajoutés au point 6.

Les 6 points braille



Ligne de référence										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
On ajoute le point 3 à la ligne de référence										
	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
On ajoute les points 3 et 6 à la ligne de référence										
	u	v	x	y	z	ç	é	à	è	ù
On ajoute le point 6 à la ligne de référence										
	â	ê	î	ô	û	ë	ÿ	ü	œ	w
On abaisse d'un cran les points de la ligne de référence										
	,	;	:	/ou.	?	!	„	(	*	)

Figure 24. Alphabet braille français (document réalisé par Pierre Pardo)

L'emplacement relatif des points entre eux étant le moyen de reconnaître les signes, le braille nécessite des dispositifs assurant l'emplacement précis de chaque point. La tablette et le poinçon ont été les premiers outils utilisés pour l'écriture du braille. La première machine à écrire fut inventée en 1892, suivie de la Perkins Brailleur conçue en 1951. Aujourd'hui, l'informatique, grâce au développement d'interfaces tactiles [Shinohara, Tenenberg 2009] et audio-tactiles, permet aussi d'écrire et de lire des documents en braille. D'ailleurs, à l'occasion de l'International Mother Language Day, en 2005, L'Unesco a souligné que le braille est un « *langage vital pour la communication, aussi légitime que toutes les autres langues dans le monde* »⁴⁸ [Jiménez et al. 2009]. En 1949, le braille est reconnu comme étant un langage universel par l'Unesco. À l'occasion de cette conférence ont été établies des recommandations pour uniformiser les variantes présentes dans les différentes langues⁴⁹. En dépit de ce consensus, l'adaptation aux langues non-européennes pose parfois des difficultés comme, par exemple, en Chine ou encore parmi les langues tribales africaines [Jiménez et al. 2009].

La norme [NF EN 15823], qui spécifie les règles relatives à l'étiquetage des médicaments, recommande la convention d'espacement Marburg Medium, qui définit les dimensions à l'intérieur et entre les cellules braille. Elle est considérée dans les lignes directrices de la Commission européenne comme appropriée à cette application. Précisément, il est recommandé que le diamètre d'un point soit égal à 1,6 millimètre, que la distance entre les centres de deux points soit égale à 2,5 millimètres. La distance entre deux lettres d'un mot doit être égale à 6 millimètres, deux fois plus, soit 12 millimètres entre deux mots et 10 millimètres pour chaque interligne. Pour toutes ces dimensions, la tolérance est de plus ou moins 0,1 millimètre.

48. Traduction personnelle de « *Vital language of communication, as legitimate as all other languages in the world* » [Jiménez et al. 2009].

49. Il n'existe pas d'accord concernant les symboles braille pour les nombres, les lettres accentuées et les caractères spéciaux, notamment « / », « % ». L'Union européenne des aveugles (UEA) tente d'harmoniser les alphabets, les caractères spéciaux, les symboles et les abréviations braille [NF EN 15823].

2.3.2. L'accès aux images : état de l'art des représentations visuelles et tactiles pour amblyopes et aveugles

2.3.2.1. Les recommandations et les normes publiées pour les amblyopes

Afin de rendre les bâtiments accessibles à tous, des recommandations portant sur l'espace architectural ont été publiées [Ratelle et al. 2003]. Elles sont le fruit d'une synthèse bibliographique et d'un travail collaboratif entre une entreprise spécialisée dans l'Universal Design et un institut canadien, qui vient en aide aux personnes aveugles et amblyopes, et d'une validation de la part de groupes d'utilisateurs aveugles et des spécialistes en mobilité et orientation [Lemay et al. 2005]. Ces fiches préconisent un contraste coloré entre deux surfaces adjacentes (murs, sols, portes, etc.) d'au moins 70 % (cf. tableau 9) ; le contraste coloré le plus acceptable étant l'association du noir et du blanc combinée à une finition mate, car la brillance reflète la lumière et peut créer de l'éblouissement pour les personnes amblyopes (en particulier pour les amblyopes photophobes).

	Beige	Blanc	Gris	Noir	Brun	Rose	Pourpre	Vert	Orange	Bleu	Jaune	Rouge
Rouge	78	84	32	38	7	57	28	24	62	13	82	0
Jaune	14	16	73	89	80	58	75	76	52	79	0	
Bleu	75	82	21	47	7	50	17	12	56	0		
Orange	44	60	44	76	59	12	47	50	0			
Vert	72	80	11	53	18	43	6	0				
Pourpre	70	79	5	56	22	40	0					
Rose	51	65	37	73	53	0						
Brun	77	84	26	43	0							
Noir	87	91	58	0								
Gris	69	78	0									
Blanc	28	0										
Beige	0											

ne pas utiliser

acceptable

cas limite

Tableau 9. Les contrastes colorés recommandés pour les amblyopes

La norme [NF Q 60-007], établie par Maximilien Vox, classe les caractères typographiques en neuf familles : humaines, garaldes, réales, didones, mécanes, linéales, incisives, scriptes, manuelles auxquelles ont été ajoutés ultérieurement les caractères fraktur et étrangers.

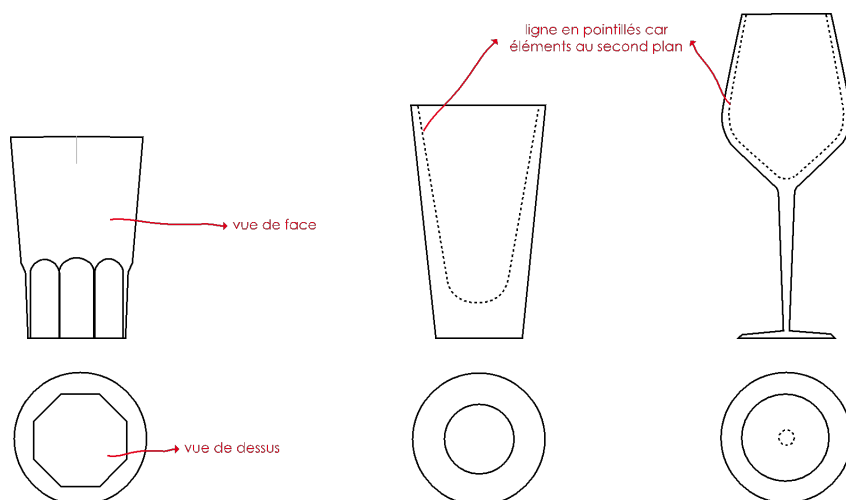


Figure 25. Les quatre familles de polices recommandées pour les lecteurs amblyopes

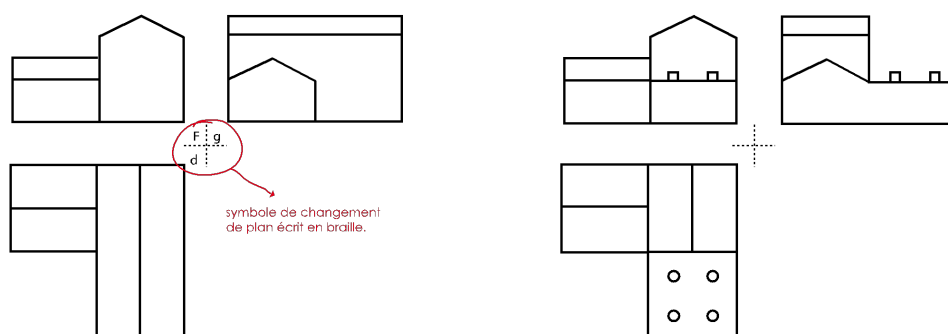
Parmi cette classification, ce sont les polices linéales **[NF EN 15823]**, mécanes, incises et humaines **[NF Q 67-004]** qui sont recommandées (cf. figure 25) et largement diffusées pour la mise en page de gros caractères pour les lecteurs amblyopes **[Grosbois 2003]** **[López 2005]**, car les polices présentant des pleins et des déliés trop marqués, mais aussi des empattements importants, sont à éviter **[NF EN 15823]**.

2.3.2.2. Les propositions de représentations en relief pour les aveugles

Historiquement, les premières représentations tactiles jouaient déjà un rôle pédagogique, c'est-à-dire qu'elles devaient apporter des connaissances à leurs utilisateurs **[Claudet 2007]**. C'est dans cet objectif que fut développé le principe de représentation tactile par *projection orthogonale*. Il fait référence à la norme européenne **[NF EN ISO 5456 - partie 1, 2 et 3]** qui spécifie les règles et les conventions du dessin technique. Il s'agit d'une décomposition de l'objet (ou de l'espace) en plusieurs vues (vue de face, de profil, de dessus ou de dessous) **[Hatwell, Martinez-Sarocchi 2000]** sur trois plans perpendiculaires : en haut, à gauche, la représentation de face ; à l'aplomb, en dessous, la représentation de dessus ; en haut, à droite de la représentation de face, la représentation de côté **[Morice 1992]** (cf. figure 26).

Figure 26. Représentations tactiles d'un objet usuel par méthode de *projection orthogonale*

Il s'agit d'une représentation dérivée de la géométrie descriptive de Monge, utilisée par les dessinateurs industriels [Morice 1992]. Ces projections, qui représentent les objets exclusivement par la mise en relief de leurs contours grâce à un trait, nécessitent un apprentissage de lecture de la part de l'utilisateur en situation de handicap visuel puisqu'il existe des conventions codifiées (représentation graphique et correspondance tactile en analogie avec celles du dessin industriel) comme la mise en page des différentes vues mais aussi les codes graphiques qui symbolisent le premier plan visible de l'arrière-plan caché, etc. (cf. figures 26 et 27).

Figure 27. Représentations tactiles d'éléments architecturaux par la méthode de *projection orthogonale*

2.3.2.3. Rendre les musées accessibles au public déficient visuel : les visites proposées

Dans les musées, il est très souvent indiqué qu'il est interdit de toucher ou bien de s'approcher des œuvres exposées comme le rappelle **[Vanbelle 1972]**⁵⁰. Les visites (dont l'étymologie du mot signifie d'ailleurs « voir ») sont uniquement visuelles pour les voyants et « *encourag[ent] le visiteur à découvrir les collections en le maintenant à distance de l'œuvre* »⁵¹ **[De Ramefort 2008]**. Les œuvres artistiques exposées sont donc découvertes grâce au cartel qui nous informe sur le contexte de réalisation du tableau et à l'œuvre elle-même qui nous renvoie à son format et à son iconographie. Pour rendre les musées accessibles aux personnes en situation de handicap visuel, les visites tactiles organisées pour ce public proposent de « *prendre le contre-pied* » comme le souligne **[De Ramefort 2008]**, en proposant de rendre accessibles par le toucher les informations visuelles des œuvres : en explorant les œuvres originales ou bien leurs reproductions (fac-similés), les maquettes, les représentations tactiles, complémentaires ou non aux commentaires du conférencier, de l'audiodescripteur, aux informations contenues dans l'audioguide ou par l'intermédiaire du casque mis à la disposition des personnes. Ces visites sont de plus en plus nombreuses, cette évolution est une conséquence positive de la création du label « Tourisme et Handicap » qui date de 2001 et de la mise en conformité progressive suite à la loi du 11 février 2005 (> cf. [partie 1.3.3](#)). Les recherches sur l'existant⁵² montrent que les visites fonctionnent à partir de deux modalités sensorielles : le toucher et l'ouïe (cf. figure 28). Certaines visites sont basées uniquement sur la modalité sensorielle tactile : les supports accessibles aux visiteurs déficients visuels sont les œuvres originales elles-mêmes. Celles-ci sont alors sélectionnées parmi la collection du musée et sont explorées (en général) à l'aide de gants. Des fac-similés, des maquettes, des représentations tactiles, accompagnés de textes en braille, peuvent aussi être fabriqués et, dans ce cas, sont réservés aux visites tactiles. Les visites basées sur la modalité sensorielle sonore font intervenir un conférencier dont les commentaires sont

50. Dans une étude de cas récente, les usagers du musée national d'Ethnologie d'Osaka proposent, dans le cadre d'un groupe de travail, de concevoir un espace tactile et interactif pour tous au sein duquel il serait clairement autorisé de toucher les œuvres **[Hirai et al. 2011]**.

51. Il faut ajouter que des artistes aveugles produisent des œuvres d'art **[Arnheim 1990]** **[Révész 1950]** comme, par exemple, le photographe Evgen Bavčar **[Ellenberger 1991]** **[Bavčar 1992]**.

52. Entre 2007 et 2009, nous avons participé, avec divers groupes de personnes en situation de handicap visuel, à différentes visites dans plusieurs musées parisiens, à savoir : le musée du quai Branly, la Cité des sciences et de l'industrie, le musée du Louvre (« Une œuvre, une heure »), « Tokyofeel » au Palais de Tokyo et au Centre Georges-Pompidou (« Toucher pour voir »).

parfois présentés en audiodescription ⁵³ pour chaque œuvre, un audioguide ou un autre dispositif permettant, par l'intermédiaire d'un casque, d'obtenir des informations sonores. Les visites audio-tactiles combinent les deux modalités sensorielles. Dans ce cas, le musée propose des supports de visites audio-tactiles en associant les dispositifs décrits dans les deux premiers cas de figure.

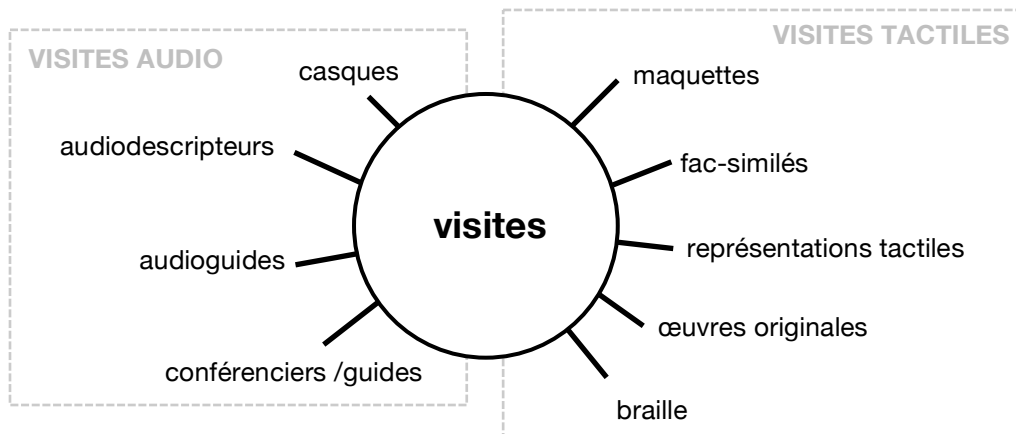


Figure 28. Synthèse des visites dans les musées pour les personnes aveugles et amblyopes

Aujourd'hui, en France, grâce à la loi du 11 février 2005 et en raison du vieillissement de la population, les visites proposées au public en situation de handicap visuel sont de plus en plus nombreuses. Ces visites sont organisées à partir de deux modalités sensorielles : par l'intermédiaire de supports tactiles et/ou d'informations sonores sachant que chaque aménagement est exclusivement utilisé dans le musée qui l'a créé. En effet, bien qu'il existe une réglementation concernant l'accueil des personnes handicapées dans les bâtiments publics, ces règles concernent uniquement l'architecture du bâtiment. Même si de plus en plus de visites sont organisées pour les personnes en situation de handicap sensoriel, aucune norme de représentation ne définit les éléments indispensables à traduire tactilement, ni la manière de les interpréter tactilement.

53. L'audiodescription, qui a été développée aux États-Unis dans les années 1970, consiste à fournir une traduction verbale d'éléments visuels [Snyder 2005]. L'audiodescription est disponible à la télévision, en vidéo, en DVD, au cinéma, au théâtre, dans le cadre d'événements sportifs et dans les musées [Whitehead 2005] [Hillis 2005].

2.3.3. État de l'art des procédés de fabrication de documents en relief

Les procédés de fabrication qui permettent de rendre accessibles par le toucher les documents écrits et illustrés sont multiples [Eriksson 1999] [Horsfall 1997] [NF EN 15823]. Leur utilisation dépend du nombre d'exemplaires à réaliser, du coût et du temps nécessaire pour les fabriquer. En effet, certains procédés se révèlent laborieux pour aboutir à un document finalisé et/ou le coût financier est bien trop élevé. Du point de vue de leur conception, chaque procédé de fabrication de documents en relief se distingue par des représentations tactiles particulières, car chacun d'entre eux présente des possibilités et des limites graphiques comme cela est synthétisé dans le tableau 10.

PROCÉDÉS	POSSIBILITÉS	LIMITES
thermorelief	- dessin de contours/de points - mise en relief de surfaces - dessin de trames	- un seul niveau de relief - support monomatière (papier/plastique)
thermogonflage	- dessin de contours/de points - mise en relief de surfaces - dessin de trames	- un seul niveau de relief support - monomatière (papier à thermogonfler uniquement)
gaufrage embossage	- dessin de contours/de points - mise en relief de surfaces - 2 à 3 niveaux de relief	- support papier uniquement
découpage	- découpage de surfaces	- un niveau de relief (positif/négatif)
multimatière	- mise en relief de surfaces - plusieurs niveaux de relief - variétés des états de surfaces	
thermoformage	- dessin de contours/de points - mise en relief de surfaces - dessin de trames - 3 à 4 niveaux de relief	- support monomatière (plastique à thermoformer uniquement)

Tableau 10. Limites et possibilités des procédés de fabrication de documents en relief

L'ensemble des procédés de fabrication fonctionne à partir de la mise en relief d'un ou de plusieurs niveaux. Le thermoformage est le procédé avec lequel il est possible de réaliser le plus de strates : quatre à cinq niveaux au maximum.

L'usinage à commande numérique permet un gain de temps dans la réalisation de supports tactiles qui nécessitent la fabrication d'une matrice, comme, par exemple,

pour le thermoformage. En effet, certains transcodeurs fabriquent cette matrice en usinant une pièce (en mousse polyuréthane) par commande numérique ce qui évite les découpages, collages et montages manuels. L'usinage à commande numérique permet aussi d'élargir la palette des procédés envisageables dans la réalisation de représentations tactiles. Des pièces mises en place au sein des parcours tactiles sont, en effet, désormais réalisées avec ce moyen de mise en œuvre. L'utilisation d'un tel procédé permet aussi d'élargir la gamme des matériaux utilisés dans la conception de représentations tactiles : acétate de cellulose pour le groupe Alain Mikli International mais aussi Corian®, polyméthacrylate de méthyle ⁵⁴, etc. Les procédés de prototypage rapide ⁵⁵ sont aussi des voies à explorer qui permettraient, par un transfert de technologie, d'innover dans ce domaine en proposant des possibilités graphiques complémentaires à celles couramment utilisées ; il s'agit d'ailleurs de l'un des trois livrables attendus par le groupe Alain Mikli International (> cf. partie 1.3.1).

2.3.4. Limites de cet état de l'art

Les recommandations et les normes publiées concernent seulement les amblyopes et se focalisent sur les aspects visuels des équipements à concevoir. En revanche, aucune norme n'évoque les aspects tactiles d'une représentation photographique ou picturale, à notre connaissance. Les études tactiles réalisées concernent seulement des objets usuels ou bien des éléments architecturaux. À ce jour, il n'existe pas non plus de consensus dans les musées. Chaque établissement réalise des supports muséaux uniquement conçus pour leurs expositions tactiles.

Les possibilités graphiques montrent la relation qu'il existe entre procédé et représentation graphique et inversement. Pour notre projet de recherche, il semble donc indispensable de transférer un procédé de fabrication existant vers la réalisation de documents en relief afin de créer des représentations intermédiaires tactiles innovantes en vue de nos expérimentations.

54. Le PMMA est un thermoplastique. Il est généralement vendu sous la forme d'un demi-produit dont la désignation commerciale est Plexiglas®, Altuglas®, etc.

55. « La notion de prototypage rapide signifie littéralement "fabrication rapide de modèles et de prototypes" et désigne différents procédés permettant de restituer physiquement des objets 3D décrits par leurs données CAO, sans outillage et dans un temps beaucoup plus court que par les techniques classiques. [...] Le terme de "prototypage rapide" peut, en fait, s'étendre à toute la chaîne d'obtention du prototype, depuis l'idée jusqu'à la pièce, pourvu que cette chaîne soit nettement plus courte que les approches traditionnelles, avec une implication forte de la chaîne numérique » **[Bernard, Taillandier 1998]**.

2.4. Résumé des constats

2.4.1. Constats liés à la démarche de conception

Parmi les classifications des représentations intermédiaires en 3D existantes, il n'existe pas, à notre connaissance, de typologie qui permet d'étudier la perception tactile des personnes aveugles et amblyopes selon deux critères : la lisibilité et la compréhension. Alors que **[Carlile 2002 ; 2004]** les classe du point de vue de l'organisation du processus de conception, **[Mer et al. 1995]** y ajoutent le point de vue de l'utilisateur qui peut interagir avec eux, s'il s'agit d'un objet intermédiaire « *ouvert* » opposé à un objet intermédiaire « *fermé* » mais aussi selon un deuxième axe complémentaire et plus complexe : l'objet est « *commissionnaire* » s'il transmet fidèlement les intentions des concepteurs contrairement à un objet « *médiateur* » qui transforme les intentions de ses auteurs. **[Bassereau et al. 2003]** proposent des maquettes dont l'objectif est de valider des hypothèses de bonnes sensations (sonores, tactiles, etc.), mais ne détaillent pas précisément leurs typologies par rapport à notre objet de recherche.

Les démarches existantes (Universal Design et Inclusive Design) proposent de répondre, entre autres, aux besoins des personnes en situation de handicap visuel. Or, à notre stade de recherche, nous sommes dans l'incapacité de définir, précisément, les besoins des personnes déficientes visuelles. Il est nécessaire d'analyser leurs besoins afin de les traduire dans les produits à concevoir. Notre démarche expérimentale se situe donc en amont des démarches de conception universelle étudiées.

2.4.2. Constats liés à la perception tactile des utilisateurs

La perception des personnes aveugles et amblyopes est particulière et entraîne donc des besoins spécifiques. Il est nécessaire d'étudier la perception tactile, mais ces données sont relatives à l'individu et non au produit à concevoir : il est donc nécessaire de transférer les connaissances théoriques, présentées dans ce document, vers la conception de produits en raison du manque de connaissances relatif à la conception de produits destinés aux personnes aveugles et amblyopes ⁵⁶.

56. Traduction personnelle de « *With opinions still divided and relevant studies on designing tasks aimed at blind users remaining scarce, product designers are in a serious lack of relevant human-factor data regarding the blind, and thus have problem identifying the general physiological and psychological characteristics of the blind* » **[Lai, Chen 2006]**.

2.4.3. Constats liés aux produits conçus

Aucune norme à propos de la représentation tactile de photographies ou de peintures n'a été répertoriée au cours de notre recherche bibliographique. Les recommandations existantes concernent uniquement la conception de représentations pour les personnes amblyopes et ne décrivent que les aspects visuels des représentations à concevoir (contrastes colorés et familles de polices).

Au sein des musées, il n'existe pas de norme concernant les représentations tactiles d'œuvres d'art et les espaces d'exposition. Les visites proposées au public en situation de handicap visuel sont donc différentes d'un musée à l'autre.

Synthèse / conclusions sur l'état de l'art

Cette partie consacrée à l'état de l'art théorique et empirique montre que plusieurs domaines sont concernés et souligne ainsi le caractère multidisciplinaire de notre recherche. Cet état de l'art souligne aussi notre manque de connaissances par rapport à notre objet de recherche, à savoir la conception de représentations tactiles d'œuvres d'art pour les personnes aveugles et amblyopes. Ces constats interviennent de manière complémentaire, à plusieurs niveaux :

- concevoir pour tous nécessite de connaître les besoins des profils d'utilisateurs différents. Pour cette raison principale, nous imaginons une démarche à décrire précisément en amont des démarches de conception universelle existantes. Cette démarche intégrerait la conception de représentations intermédiaires physiques pour tester la perception tactile des utilisateurs.
- la perception des utilisateurs est spécifique. Ce deuxième constat conforte la nécessité de mettre en place une démarche spécifique et fournit les premières données relatives à la découverte de leur environnement. Les données extraites des sciences cognitives nécessitent de changer de paradigme en les traduisant pour la conception de produits.
- les produits conçus sont de plus en plus nombreux, mais aucun consensus n'a été défini pour les représentations tactiles d'œuvres d'art comme cela est le cas pour les documents écrits en braille.

L'ensemble de ces constats nous amène à construire notre problématique de recherche et nos deux hypothèses présentées en partie 3 de ce document.

3. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Introduction

L'état de l'art bibliographique et empirique nous permet de mettre en évidence plusieurs constats (> cf. [partie 2](#)), à savoir :

Tout d'abord, il est nécessaire de définir une démarche de conception en amont des approches de conception universelle existantes dans le but d'étudier l'exploration des personnes aveugles et amblyopes au contact d'une représentation tactile d'œuvre d'art. En raison des capacités sensorielles des utilisateurs aveugles et amblyopes, il faut concevoir et réaliser des représentations intermédiaires qui figurent les éléments de lecture et de compréhension mis en jeu, dans le but d'obtenir des connaissances à la fois sur les usagers et le produit à concevoir, à savoir les représentations tactiles.

Ensuite, l'étude de la perception tactile montre que les personnes aveugles et amblyopes ont des besoins spécifiques. Pour cette raison, il est nécessaire de recueillir des données théoriques dans le domaine de la perception tactile. Toutefois, ces informations sont insuffisantes car elles ne concernent pas directement notre champ d'application.

Enfin, la synthèse des produits existants montre que les aspects tactiles des représentations d'œuvres d'art ne sont pas normalisés pour les aveugles et les amblyopes.

Ces constats nous permettent de construire la problématique de recherche qui vise à s'interroger sur la manière de concevoir des représentations tactiles d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel (> cf. [partie 3.1](#)).

Pour répondre à cette problématique, nous proposons deux hypothèses de résolution : la mise en place d'une démarche de conception expérimentale ainsi que la formulation de concepts qui aideraient à l'activité de conception (> cf. [partie 3.2](#)).

3.1. Problématique : comment concevoir des représentations tactiles pour les personnes en situation de handicap visuel

Les constats mis en évidence préalablement sont les suivants :

- du point de vue du concepteur, il faut définir une démarche de conception en amont des approches de conception universelle déjà modélisées qui intègre la conception de représentations intermédiaires physiques ;
- du point de vue de l'utilisateur, l'étude de la perception tactile montre que les personnes aveugles et amblyopes ont des besoins spécifiques. Pour cette raison, il est nécessaire de recueillir des données théoriques dans le domaine de la perception sensorielle. Toutefois, ces informations sont insuffisantes car elles ne concernent pas directement notre champ d'application ;
- enfin, la synthèse des produits existants montre que les aspects tactiles des représentations d'œuvres d'art ne sont pas normalisés.

Globalement, notre état de l'art montre que les connaissances disponibles concernant la conception de représentations tactiles d'œuvres d'art sont restreintes. Ce constat est valable à plusieurs niveaux : les représentations elles-mêmes ne sont pas explicitées et, par conséquent, l'ensemble du processus en amont permettant d'aboutir à leur conception n'a pas été formalisé à ce jour, ces deux aspects constituant nos deux hypothèses de recherche (cf. figure 29).

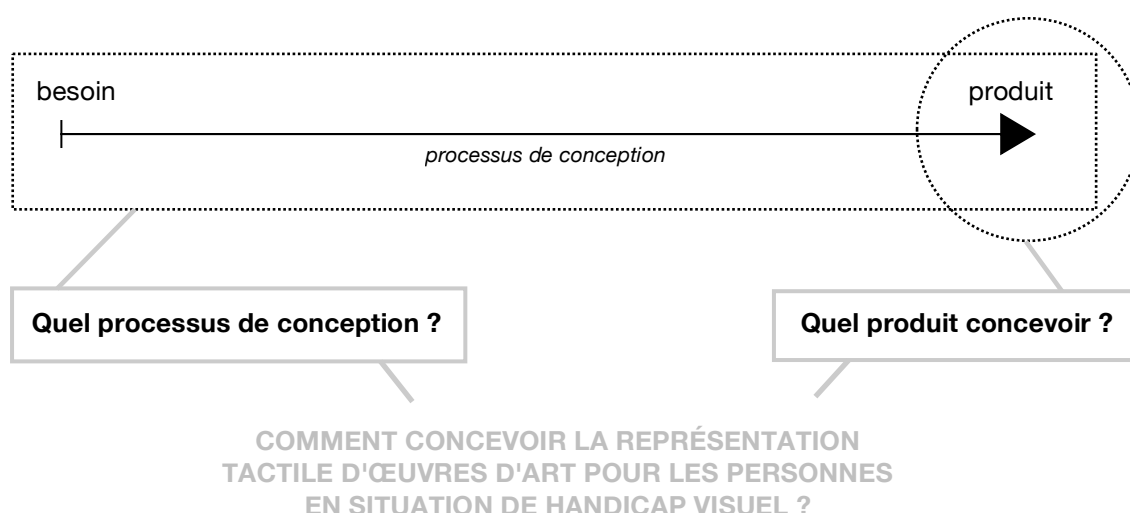


Figure 29. Schéma de la problématique de recherche

Notre problématique consiste donc à s'interroger sur la manière de concevoir la représentation tactile d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel.

Par *représentation tactile*, nous entendons le fait de rendre accessibles par la modalité sensorielle tactile les éléments visuels tels que les contours, le clair-obscur, les textures, la perspective / les plans, l'orientation et l'échelle de représentation par des niveaux de relief et d'autres effets tactiles ⁵⁷. Notre recherche n'inclut pas la représentation des aspects colorés de l'œuvre originale par la modalité sensorielle tactile, ces aspects étant uniquement rendus visuellement dans la mesure où la couleur ne revêt pas de caractère symbolique dans les œuvres d'art sur lesquelles nous travaillons.

Dans le cadre de notre étude, nous désignons comme *œuvres d'art* l'art pictural ainsi que l'art photographique car nous testons nos hypothèses dans le cadre d'un parcours tactile mis en place au Centre Georges-Pompidou et d'une exposition itinérante de photographies de Yann Arthus-Bertrand ⁵⁸. Cependant, notre problématique et nos hypothèses de recherche pourraient s'étendre à d'autres types de supports artistiques (sculpture, architecture, etc.), voire pédagogiques (livres, maquettes, etc.).

Par le terme *handicap visuel*, nous entendons les personnes ayant une acuité visuelle, après correction, inférieure à 3/10° ou un champ visuel inférieur ou égal à 20° selon la classification de l'OMS. Nous distinguons les personnes amblyopes qui ont une acuité visuelle, après correction, comprise entre 3/10° et 1/20° ou un champ visuel compris entre 10° et 20° et les personnes aveugles qui ont une acuité visuelle inférieure à 1/20° ou bien un champ visuel inférieur à 10°. Dans le cadre de notre recherche, nous considérons comme utilisateurs de nos représentations tactiles toutes les personnes qui participent à des visites spécifiques dans les musées, au sein desquelles sont présentés des supports tactiles. Nous différencions les usagers amblyopes qui explorent les représentations tactiles par les modalités sensorielles tactile et visuelle (en fonction de leur acuité et de leur champ visuel) et les visiteurs aveugles qui découvrent les supports par une exploration tactile.

3.2. Hypothèses de recherche

3.2.1. Hypothèse 1 : mettre en place une démarche expérimentale

L'état de l'art bibliographique montre que notre travail de recherche se situe en amont

57. Basé sur l'analyse des photographies de *La Terre vue du ciel* existantes [Costes et al. 2007].

58. Au-delà de notre cadre expérimental, une œuvre d'art est un artefact à fonction esthétique selon [Genette 2010].

des démarches de conception universelle existantes (> cf. [partie 2.1.1](#)). Notre première hypothèse consisterait donc à définir les étapes d'une démarche de conception qui permettrait de générer des éléments de connaissances sur la perception des utilisateurs aveugles et amblyopes au contact d'une image tactile et sur la représentation elle-même. En effet, notre objet de recherche concerne l'étude de l'individu dans la mesure où cela nous permet d'augmenter les connaissances sur le produit à concevoir (ce qui constitue notre apport de thèse). Il s'agirait d'une démarche basée sur l'expérimentation, grâce à des entretiens réalisés avec des personnes en situation de handicap visuel, qui s'articulerait en trois étapes (cf. figure 30) :

- étape 1 : transférer des connaissances théoriques des sciences cognitives vers la conception de produits ;
- étape 2 : concevoir des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » ;
- étape 3 : planifier deux cycles itératifs de conception.



Figure 30. Schéma de l'hypothèse 1

3.2.1.1. Étape 1 : transférer des connaissances

La conception d'images tactiles est un champ de recherche nouveau où peu d'études jusqu'à présent ont été réalisées en vue d'une conception optimisée ⁵⁹ [Thompson et al. 2006]. Il existe donc très peu de connaissances antérieures explicitées que l'on peut utiliser dans la conception de nos représentations tactiles. Les seules données qualitatives existantes sont issues principalement de la psychologie qui a pour objet notamment l'étude des personnes aveugles en décrivant leur perception des objets et de l'espace (> cf. [partie 2.2](#)). Pour notre projet de recherche, il serait nécessaire de transférer ces données relatives à l'être humain vers la conception de produits. Nous « traduirions » les informations relatives aux comportements des personnes aveugles

59. Traduction personnelle de « *Yet relatively little research has been conducted in attempts to optimize tactile picture design* » [Thompson et al. 2006].

en sous-hypothèses de représentation tactile destinées aux utilisateurs aveugles et par extension amblyopes. Elles seraient susceptibles ensuite de devenir des concepts, après validation du produit avec les utilisateurs (> cf. partie 3.2.2). On parlerait alors de « transfert de connaissances », car, la psychologie étant un domaine qui a notamment pour objet d'étude la perception des personnes en situation de handicap visuel, il serait nécessaire de traduire ces données relatives à l'individu vers le produit à concevoir (cf. figure 31). Nous rejoignons **[Ali Ammar 2006]** qui, au cours de ses travaux de recherche appliqués à la conception d'un outil d'interface tactile destiné aux non-voyants, explique que l'étude des stratégies exploratoires lui a apporté des connaissances fondamentales nouvelles, elles-mêmes réutilisées dans la conception de l'interface ⁶⁰. Alors qu'il s'agit d'un constat pour **[Ali Ammar 2006]**, nous choisissons d'explicitier cet aspect de notre démarche de conception pour en faire un apport de thèse du point de vue méthodologique.

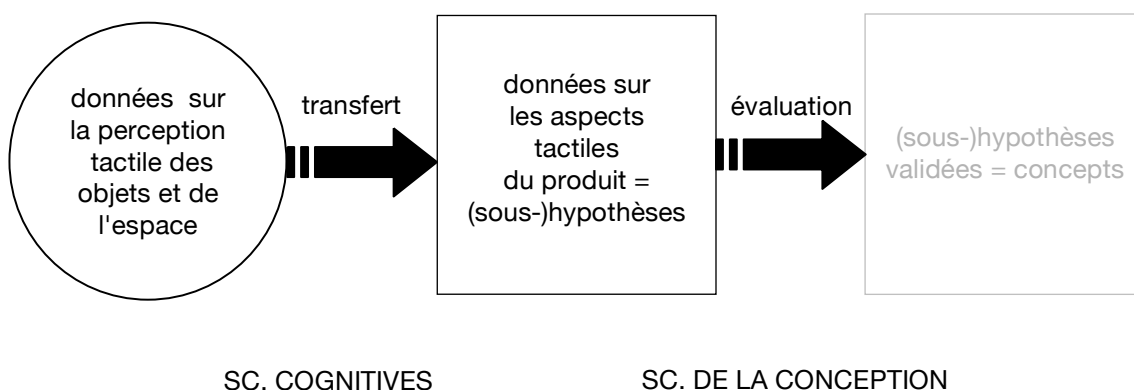


Figure 31. Transfert de connaissances : de l'étude de l'individu vers le produit à concevoir (étape 1)

Par exemple, parmi les éléments d'identification d'objets, **[Klatzky, Lederman 1987 ; 93]** identifient huit procédures exploratoires manuelles (> cf. partie 2.2.1). Pour transférer cette information concernant le processus d'identification tactile d'un objet vers la conception d'une représentation tactile, nous « traduisons » cette information

60. « L'analyse des explorations via Tactos nous permet d'articuler ces deux problématiques. En effet, l'identification de stratégies exploratoires apporte des connaissances nouvelles sur les activités prothésistes tout en suggérant des spécifications pour l'interface en cours de développement » **[Ali Ammar 2006]**.

Bien que la recherche bibliographique soit orientée vers les sciences cognitives, l'objectif de sa synthèse est différent de notre projet de recherche, car il s'agit pour elle de concevoir une IHM, de valider des scénarios d'usage alors que, dans notre étude, nous évaluons des représentations tactiles à partir de deux critères : la lisibilité et la compréhension des représentations tactiles proposées sans scénario d'usage préalablement établi.

par la conception de contrastes tactiles dans notre représentation en relief ([sous-hypothèse 2.2](#), > cf. [partie 3.2.2.2](#)). Il en est de même pour l'explication du format réel de l'œuvre décrit en détail dans la partie 3.2.2.1 de ce document (sous-hypothèse 2.1).

3.2.1.2. Étape 2 : concevoir des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile »

Dans notre état de l'art relatif aux représentations intermédiaires, nous notons que **[Bassereau et al. 2003]** proposent des maquettes « bon toucher » parmi leur typologie de maquettes « bonnes sensations » (> cf. [partie 2.1.2](#)). Nous proposons d'ajouter un niveau de détail supplémentaire à leur classification qui prend en compte les propriétés organoleptiques perçues par les utilisateurs : il s'agirait de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » ⁶¹ (cf. figure 32). Elles viseraient à représenter non seulement la/les matière(s) choisie(s), la/leur mise(s) en forme et l'/les état(s) de surface mais aussi à évaluer la clarté de l'information transmise sur des aspects tactiles liés au dessin d'éléments en relief et au braille, selon deux critères : la lisibilité tactile et la compréhension, car, comme l'indique **[Hatwell 2003]** **[Hatwell, Martinez-Sarocchi 2000]**, les personnes doivent avoir accès, d'abord, aux formes représentées en relief et, ensuite, à la compréhension des éléments tactiles.

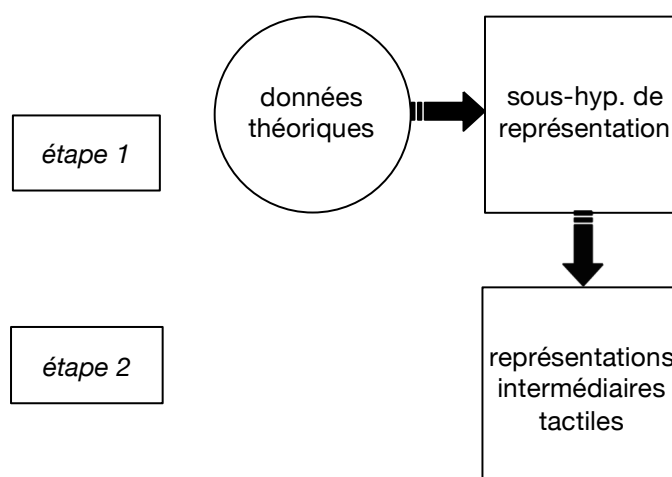


Figure 32. Conception des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » (étape 2)

61. Par l'expression « *concevoir des maquettes bonne lisibilité et compréhension tactile* », nous entendons « entrer » dans un processus de conception de ces représentations intermédiaires. Ainsi, l'expérimentation 3 qui vise à recueillir des grandeurs tactiles pour orienter la conception de ces maquettes fait partie de ce processus (> cf. [partie 4.2.2](#)).

Ces représentations intermédiaires sont conçues par maquettage traditionnel et/ou numérique en fonction de leur complexité. Dans notre étude, nous privilégions les procédés de prototypage rapide qui permettent d'associer sans assemblage niveaux de relief et états de surface de manière précise en vue de l'organisation de nos expérimentations. Du point de vue industriel, la conception de ces représentations intermédiaires nous permet de développer un savoir-faire utilisé au sein de l'entreprise.

Cette deuxième étape consisterait à matérialiser le transfert de connaissances réalisé dans l'étape 1 par la conception de maquettes tactiles (cf. figure 32). Ces représentations intermédiaires « bonne lisibilité et compréhension tactile » matérialiseraient les hypothèses de représentation résultant du transfert de connaissances.

3.2.1.3. Étape 3 : planifier deux cycles itératifs pour concevoir

La troisième particularité de notre démarche consisterait à mettre en place deux cycles itératifs de conception/d'évaluation des représentations tactiles (cf. figure 33). Le premier cycle itératif étant l'évaluation des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » version 1, elles-mêmes étant le résultat du transfert de connaissances, ce qui permettrait de centrer cette première évaluation sur les hypothèses en lien avec les données théoriques. Les résultats de cette première évaluation permettraient de valider/d'invalider les hypothèses. La deuxième évaluation à l'aide des maquettes tactiles version 2 permettrait de proposer des solutions plus détaillées. Nous faisons l'hypothèse qu'un cycle itératif serait nécessaire mais pas suffisant, car les données théoriques ne sont pas assez précises pour converger vers une solution lisible et compréhensible sans une seconde évaluation. En revanche, nous estimons que deux cycles itératifs seraient suffisants pour proposer une représentation tactile suffisamment lisible et compréhensible pour le public en situation de handicap visuel. Étant le résultat d'une démarche expérimentale, nous pensons que l'application au sein d'un parcours sensoriel permettrait éventuellement une évaluation in situ (à déterminer en fonction du protocole), utile pour poursuivre la conception et ainsi augmenter en continu les connaissances dans le but de proposer des améliorations de produit pour le dispositif tactile.

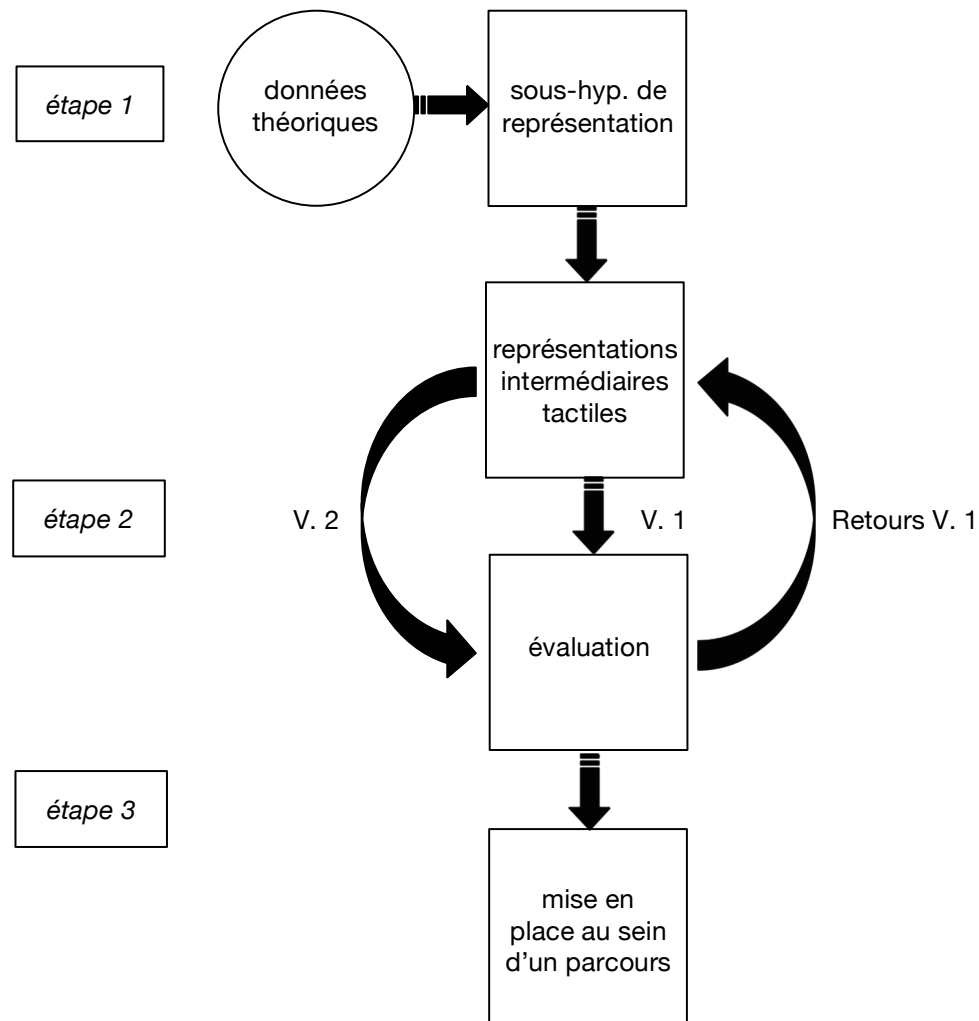


Figure 33. Deux cycles itératifs de conception/d'évaluation (étape 3) avant la mise en place au sein d'un parcours

Les deux cycles itératifs sont le résultat de deux séries d'entretiens réalisées avec des personnes en situation de handicap visuel. Ces expérimentations permettraient d'augmenter les connaissances sur le produit et donc de proposer des concepts après avoir validé les sous-hypothèses avec les utilisateurs.

3.2.2. Hypothèse 2 : formuler des concepts pour concevoir

Notre deuxième hypothèse viserait à proposer des concepts de représentation. Ils permettraient de disposer d'éléments de connaissances publiés, utiles pour concevoir des représentations tactiles destinées aux personnes aveugles et amblyopes dans un périmètre plus large que la conception de supports muséaux.

Ces concepts s'appuieraient sur la validation de deux sous-hypothèses au cours des

deux cycles itératifs de conception/d'évaluation :

- la représentation tactile égocentrée de la taille réelle de l'œuvre ;
- l'introduction de contrastes tactiles.

3.2.2.1. Sous-hypothèse 2.1 : représenter de manière égocentrée le format réel de l'œuvre

Du point de vue théorique, **[Hatwell 2003]** évoque la représentation mentale égocentrée de l'espace pour les personnes aveugles. **[Raynard 2003]**, par son expérience avec des patients en situation de handicap visuel, explique qu'ils estiment une distance à parcourir en comptabilisant le nombre de pas à faire. **[Smith et al. 2005]** proposent, par la suite, une étude qui met en évidence le fait que les personnes aveugles ne surestiment pas la taille des objets familiers (dix objets familiers dans leur expérimentation) en apportant une réponse bi-manuelle. Enfin **[Andreou, Kotsis 2005]** proposent une étude menée avec des élèves et mettent en évidence le fait que les enfants aveugles donnent davantage de réponses correctes que les enfants voyants particulièrement lorsque celles-ci sont basées sur le nombre de pas.

Bien que ces données concernent la perception de l'espace et des objets, nous transférons ces éléments qui nous guident vers notre première sous-hypothèse qui consisterait à représenter tactilement, de manière égocentrée ⁶², c'est-à-dire en utilisant le corps comme une référence ⁶³, la taille réelle de l'œuvre en complément des données chiffrées.

62. En référence à **[Hatwell 2003]** qui différencie « *la représentation mentale de l'espace égocentrée* » pour les non-voyants de « *la représentation mentale de l'espace allocentrée / exocentrée* » pour les voyants.

63. D'ailleurs, les modèles anthropométriques existent dans l'architecture romaine comme le formule Vitruve ou, plus récemment, dans l'architecture moderne, où Le Corbusier propose « Le Modulor ». Ces représentations d'échelle sont aussi utilisées dans la conception de maquettes d'espace ou d'objets par les architectes et les designers produits. Dans l'histoire de la métrologie aussi, les bâtisseurs de cathédrales utilisaient la quine constituée de cinq tiges articulées correspondant chacune à une unité de mesure relative au corps humain :

- la coudée (du coude au bout des doigts) : 52,36 cm ;
- le pied : 32,36 cm ;
- l'empan (de l'extrémité du pouce à celle de l'auriculaire) : 20 cm ;
- la palme (de l'extrémité de l'index à l'auriculaire) : 12,36 cm ;
- la paume : 7,64 cm.

Il faut multiplier par le nombre d'or (1,618) pour passer d'une mesure à la suivante.

3.2.2.2. Sous-hypothèse 2.2 : introduire des contrastes tactiles

De la même manière qu'il existe des contrastes visuels colorés pour les voyants ⁶⁴ et les amblyopes (> cf. partie 2.3.2.1), nous proposons la conception de contrastes tactiles par l'association de deux grandeurs tactiles extrêmes en fonction des procédures exploratoires mises en jeu (> cf. partie 2.2.1). Ils permettraient de créer des sensations tactiles capables d'augmenter la lisibilité et, par conséquent, la compréhension de nos représentations en relief. Nous illustrons notre hypothèse par un projet encadré par **[Bassereau, Aoussat 2005]** qui choisissent comme axe de travail la conception d'effets de contrastes tactiles suite à l'analyse de l'existant fourni par l'entreprise EO-EDPS ⁶⁵. En effet, les personnes aveugles qui participent à des tests utilisateurs soulignent la bonne lisibilité des éléments en braille dont les points en métal sont sertis sur une plaque en polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Les étudiants travaillant sur ce projet pluridisciplinaire (appelé projet 3P au LCPI) transposent ce constat à la conception du plan d'évacuation destiné aux personnes aveugles et amblyopes. Le principal contraste tactile identifié par **[Bassereau, Aoussat 2005]** est un contraste thermique entre un premier matériau froid au toucher (ici, les billes en métal) et un matériau chaud au toucher (dans ce cas, le PMMA). Au cours de notre état de l'art, nous définissons cinq contrastes tactiles différents décrits figure 34 de ce document dont deux sont mis en jeu dans nos expérimentations pour en valider l'intérêt (notamment le contraste de formes et de textures).

64. Des études sur la couleur ont été menées par Johannes Itten **[Itten 1990]**. Cet enseignant du Bauhaus a identifié sept contrastes colorés : le contraste de la couleur en soi, le contraste clair-obscur, le contraste chaud-froid, le contraste complémentaire, le contraste simultané, le contraste de qualité et le contraste de quantité.

65. Entreprise lyonnaise qui conçoit des produits destinés aux personnes en situation de handicap : www.eo-edps.fr

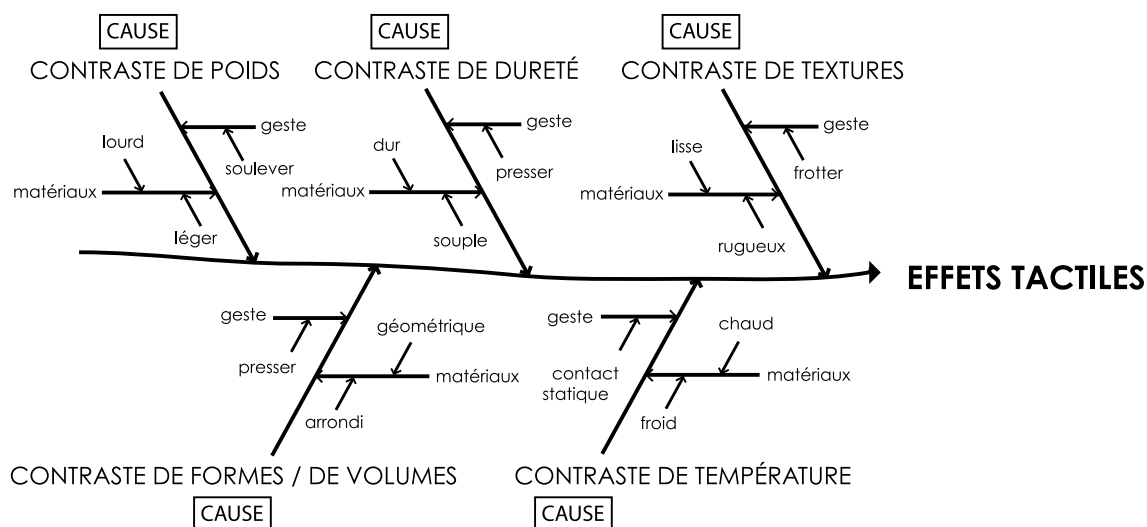


Figure 34. Les contrastes tactiles mis en forme à l'aide du diagramme d'Ishikawa

Ce diagramme présente une synthèse de données en sciences cognitives et en évaluation sensorielle qui constitue un apport de recherche intermédiaire **[Costes et al. 2007]**, car ce schéma constitue la base de deux expérimentations où quarante-quatre personnes ont été interrogées (> cf. [partie 4.2](#)). Alors qu'en évaluation sensorielle les descripteurs sont définis consensuellement par un panel sensoriel où les échelles associées aux grandeurs sensorielles ne sont pas bipolaires (cf. pratiques de l'évaluation sensorielle avec les grandeurs sensorielles tactiles « lisse »/« pas lisse » par exemple **[Bassereau, Charvet-Pello 2011]**), nous avons choisi une échelle bipolaire illustrée par des termes (même si ceux-ci ne s'opposent pas totalement) pour des raisons de facilité d'appropriation de la part des personnes interrogées.

Synthèse / conclusions sur la problématique et les hypothèses

À partir des manques de connaissances identifiés dans l'état de l'art à propos des démarches de conception universelle existantes, au sujet de la perception tactile des personnes en situation de handicap visuel et concernant les représentations tactiles existantes (> cf. [partie 2](#)), nous construisons notre problématique de recherche et nos hypothèses de résolution.

Cette problématique porte sur la manière de concevoir des représentations tactiles d'œuvres d'art pour les personnes aveugles et amblyopes et nos hypothèses proposent d'apporter des connaissances du point de vue méthodologique et du point de vue du produit tactile à concevoir, où les manques de connaissances ont été identifiés. Ces deux aspects constituant nos deux hypothèses (cf. figure 35), nous supposons, d'une part, que l'élaboration d'une démarche basée sur l'expérimentation et centrée sur la perception tactile permettrait de générer des connaissances sur les utilisateurs et donc sur le produit à concevoir. D'autre part, la validation de concepts pour concevoir ces représentations tactiles permettrait de disposer de connaissances publiées, utiles pour la conception future de supports tactiles en direction des aveugles et des amblyopes.

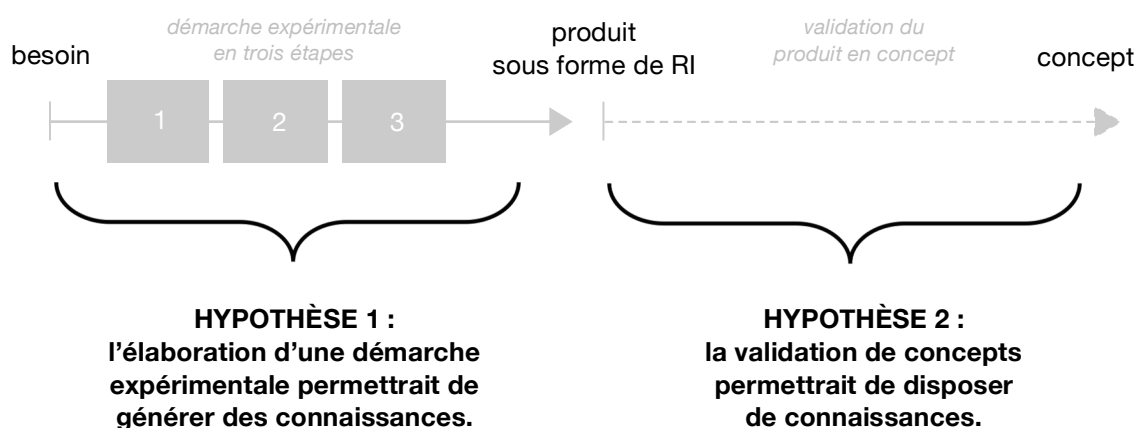


Figure 35. Lien entre les deux hypothèses

La validation de nos deux hypothèses au cours de quatre expérimentations a pour objectif de formaliser en partie ce champ de recherche en vue de l'optimisation du processus de conception de représentations tactiles.

4. EXPÉRIMENTATIONS

Introduction

Nos hypothèses de recherche peuvent être réparties selon deux aspects : le produit lui-même et le processus de conception pour y parvenir. Ainsi, nous les testons au cours de quatre expérimentations comme indiqué dans le tableau 11, ci-dessous :

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES	EXPÉRIMENTATIONS			
		Cycle itératif		Cycle itératif	
		1 ^{er}	2 ^e	1 ^{er}	2 ^e
HYPOTHÈSE 1 : LA MÉTHODOLOGIE	Étape 1 : transférer des connaissances		expé. 2	expé. 3	
	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles	exp. 1	expé. 2	expé. 3	expé. 4
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	expé. 1	expé. 2	expé. 3	expé. 4
HYPOTHÈSE 2 : LE PRODUIT	Sous-hypothèse 2.1 : représentation égocentrée du format de l'œuvre	expé. 1	expé. 2		
	Sous-hypothèse 2.2 : contrastes tactiles			expé. 3	expé. 4

Tableau 11. Organisation des expérimentations en fonction des sous-hypothèses et des étapes énoncées

Ces quatre expérimentations sont réalisées au cours de deux projets de conception de parcours tactiles conçus par le groupe Alain Mikli International. Le premier projet concerne la mise en place du parcours « Images tactiles » au Centre Georges-Pompidou (> cf. [partie 4.1](#)) et le second projet concerne la conception de photographies tactiles de *La Terre vue du ciel* par Yann Arthus-Bertrand dans le projet d'expositions itinérantes « Regards tactiles » (> cf. [partie 4.2](#)). Les résultats de nos expérimentations sont la synthèse des entretiens organisés avec des personnes aveugles et amblyopes que nous présentons en [partie 4.3](#) de ce document.

4.1. Expérimentations 1 et 2

4.1.1. Contexte des deux premières expérimentations : le Centre Georges-Pompidou

En 2008, le groupe Alain Mikli International conçoit un parcours tactile mis en place au Centre Georges-Pompidou en janvier 2009 ⁶⁶. Les équipes de l'entreprise et du musée travaillent alors conjointement pour concevoir la représentation en relief de peintures modernes et contemporaines faisant partie de la collection permanente du musée dans le but de les rendre accessibles au public en situation de handicap visuel. Ces représentations tactiles nécessitent aussi la conception de panneaux sur lesquels sont imprimées les notices en braille (> cf. [partie 2.3.1](#)) et en gros caractères (> cf. [partie 2.3.2.1](#)) ainsi que de meubles sur lesquels sont fixés les représentations tactiles et leurs supports explicatifs. Le Centre Georges-Pompidou travaille également à la rédaction et à l'enregistrement des textes contenus dans l'audioguide ainsi qu'à la mise en place d'un parcours podotactile au quatrième étage du musée. Dans le cadre de ce projet, Alain Mikli nous charge de répondre à une demande formulée par l'équipe du Centre Georges-Pompidou : il s'agit de faire comprendre le format réel des œuvres traduites en niveaux de relief par un système tactile (voire kinesthésique ⁶⁷). En effet, au sein du parcours tactile, les peintures ne sont pas traduites à l'échelle 1 pour des raisons techniques : le procédé mis en œuvre ne permet pas de concevoir une représentation tactile plus grande qu'un format A3. De plus, elles ne sont pas présentées devant l'œuvre originale, mais sont réunies dans un espace qui leur est consacré (cf. figure 36).



Figure 36. Parcours tactile mis en place au Centre Georges-Pompidou en janvier 2009

66. Parcours installé au quatrième étage du musée.

67. Cf. définition page 65 (en bas de page).

4.1.2. Premier cycle itératif : expérimentation 1

4.1.2.1. Objectifs

Ce projet est notre première étude de cas au sein de laquelle nous testons partiellement nos hypothèses, à savoir (cf. tableau 12) :

- la mise en place du pré-modèle de démarche de conception expérimentale (> cf. partie 3.2.1) en trois étapes : le transfert de connaissances (étape 1) permettrait de concevoir des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » (étape 2) évaluées au cours de deux cycles itératifs de conception (étape 3) avant de les utiliser dans le cadre d'un projet d'installations (audio-)tactiles (cycle itératif 1) puis au moment de la mise en place du projet (cycle itératif 2). Au cours de cette expérimentation, nous vérifions plus particulièrement l'étape 2 en concevant des représentations intermédiaires « bonne lisibilité et compréhension tactile » et l'étape 3 en organisant deux évaluations successives dont la première est présentée dans cette partie de document ;
- la validation de notre concept de représentation égocentrée du format réel de l'œuvre (> cf. partie 3.2.2.1) selon deux critères : la lisibilité tactile ainsi que la compréhension des propositions graphiques sous forme de représentations intermédiaires tactiles évaluées par des personnes aveugles et amblyopes afin de concevoir, en fonction de leurs retours, une version 2 de cette représentation.

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES TESTÉES	MATÉRIEL EXPÉRIMENTATION 1
HYPOTHÈSE 1 : LA MÉTHODOLOGIE	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles	Dix représentations intermédiaires version 1 à évaluer
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	
HYPOTHÈSE 2 : LE PRODUIT	Sous-hypothèse 2.1 : représentation égocentrée du format de l'œuvre	

Tableau 12. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre première expérimentation

4.1.2.2. Protocole

Les participants

Pour cette évaluation, nous interrogeons cinq personnes aveugles de naissance, cinq personnes aveugles tardives et dix personnes amblyopes, soit au total vingt personnes en situation de handicap visuel âgées de 33 à 80 ans. Cette diversité est en accord avec l'objectif qui est de concevoir une représentation tactile pour les visiteurs amblyopes et aveugles (cf. tableau 13).

TYPES DE CÉCITÉ	NOMBRE DE PARTICIPANTS
Aveugles précoces	5
Aveugles tardifs	5
Amblyopes	10
TOTAL	20

Tableau 13. Participants - première expérimentation

En effet, nous équilibrons notre panel de participants pour obtenir des données sur les aspects tactiles parmi des volontaires en situation de handicap visuel dont les profils sont différents :

- perception tactile et/ou visuelle pour les personnes amblyopes en fonction du degré de malvoyance ;
- perception uniquement tactile pour les participants non-voyants précoces, qui sont soit aveugles depuis leur naissance ou bien qui ont vu jusqu'à l'âge de trois ans mais qui n'ont pas de souvenirs visuels (avec ou sans perception lumineuse) **[Thompson et al. 2006]** ;
- perception tactile pour les participants non-voyants tardifs qui sont des personnes qui ne voient plus (avec ou sans perception lumineuse) ou avec une vision résiduelle qui ne permet pas l'utilisation de supports visuels. Tous les participants de ce groupe sont devenus aveugles après l'âge de trois ans, la cécité étant apparue durant l'enfance ou plus récemment. Ces participants ont des souvenirs des conventions visuelles relatives aux images mais ont recours à des représentations tactiles plutôt

qu'à des représentations visuelles [Thompson et al. 2006].

Chaque participant nous indique en introduction de nos entretiens individuels s'il est aveugle de naissance, non-voyant tardif ou bien amblyope.

Les entretiens

Nous rédigeons un guide d'entretien associé à plusieurs maquettes thermogonflées (> cf. partie 2.3.3) tactiles (un niveau de relief) et visuelles (la surface en relief est de couleur noire) comme le montrent les photographies ci-dessous (figure 37) : il s'agit de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » où « la silhouette » et « les mains » sont représentées par une surface en relief de 0,4 millimètre d'épaisseur environ. Visuellement, nous suivons les prescriptions en matière de contrastes colorés, publiées par [Ratelle et al. 2003]. En effet, nous associons le fond blanc/beige du papier à des dessins de couleur noire. Certains dessins présentés sont accompagnés d'un texte pour lequel nous suivons la norme [NF ISO 15823] qui recommande les caractères typographiques de la famille des linéales : parmi les linéales, nous choisissons la police Arial. Notons que les aspects visuels ne sont pas évalués au cours de ces expérimentations, car nous considérons les recommandations existantes comme suffisantes pour concevoir les aspects visuels des représentations.

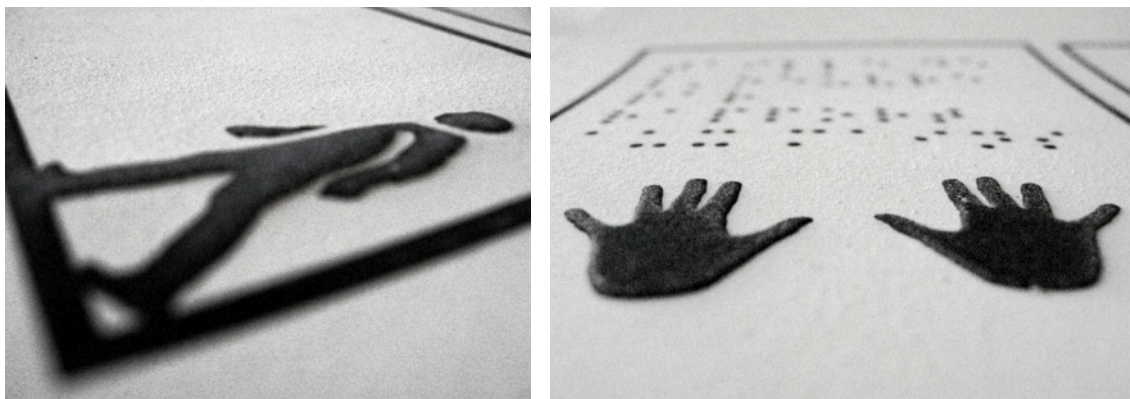


Figure 37. Détails de deux maquettes thermogonflées

En raison des capacités sensorielles des participants, nous organisons des entretiens individuels. Pour chaque entretien, d'une durée moyenne de 45 minutes, nous disposons sur la table un cache noir épais et opaque ainsi qu'une feuille de format A3

sur laquelle sont maquettées des représentations thermogonflées présentées en monadique afin d'éviter une « confusion tactile » de plusieurs représentations placées l'une à côté de l'autre (retours d'informations du test-pilote). Le test se déroule en deux parties. En première partie, les participants sont interrogés sur le principe dans sa globalité (lisibilité ⁶⁸ et compréhension tactiles du principe basé sur la représentation égocentrée ⁶⁹ du format réel de l'œuvre). En deuxième partie, plusieurs déclinaisons sont évaluées afin de tester la lisibilité tactile de chacune d'entre elles (cf. tableau 14). Tactilement, la procédure exploratoire qui consiste à suivre les contours permet aux participants de répondre aux questions posées [Klatzky, Lederman 1987 ; 1993] [Hatwell 2007].

ÉTAPES LORS DE L'ENTRETIEN	MODALITÉS	TYPES DE QUESTIONS	DONNÉES RECUEILLIES
Étape 1	Dessins en relief sans texte puis avec texte en braille et/ou « en noir », texte lu ou énoncé.	ouvertes	Lisibilité et compréhension des représentations intermédiaires
Étape 2	Dessins sans texte	fermées	Lisibilité des représentations intermédiaires

Tableau 14. Étapes de la première expérimentation - guide d'entretien

De manière plus précise, en première partie, les participants sont interrogés chronologiquement sur la compréhension de la représentation sans texte, puis avec texte en braille et/ou « en noir » lu par le participant ou énoncé à haute voix (figures 38 et 39) afin de vérifier l'intérêt et les interactions des explications écrites avec le dessin (cf. tableau 14). Chaque participant doit répondre à la question ouverte « *que représente cette image ?* », le dessin tactile avec « les mains » et celui avec « la silhouette » leur étant présentés de manière alternée. Les réponses énoncées par les participants sont reportées sur notre fiche sans les informer sur l'exactitude ou non de leurs réponses.

68. La lisibilité est un critère retenu dans la norme européenne [NF EN 15823] qui spécifie les règles relatives à l'étiquetage des médicaments : « [il] est recommandé, pendant le processus de développement, de consulter des organismes représentant les personnes aveugles et malvoyantes ou d'autres organismes compétents pour confirmer la lisibilité du texte en braille incorporé [...] ».

69. Cf. définition page 15 (en bas de page).

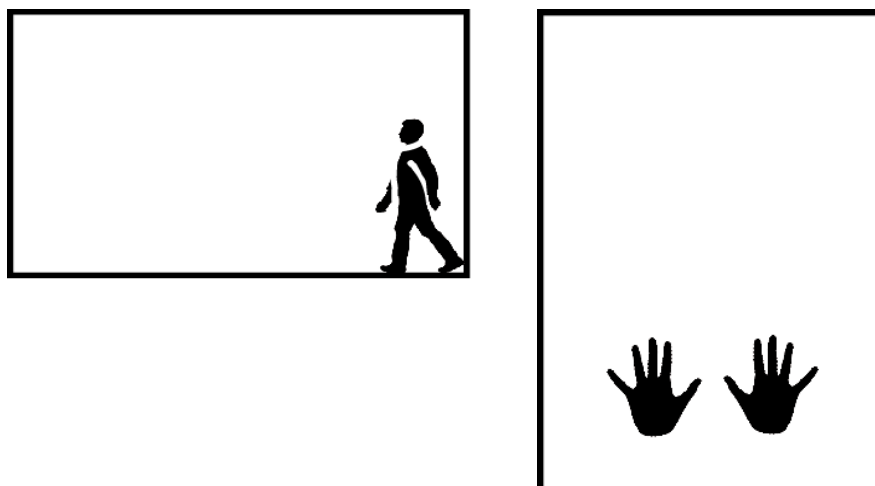
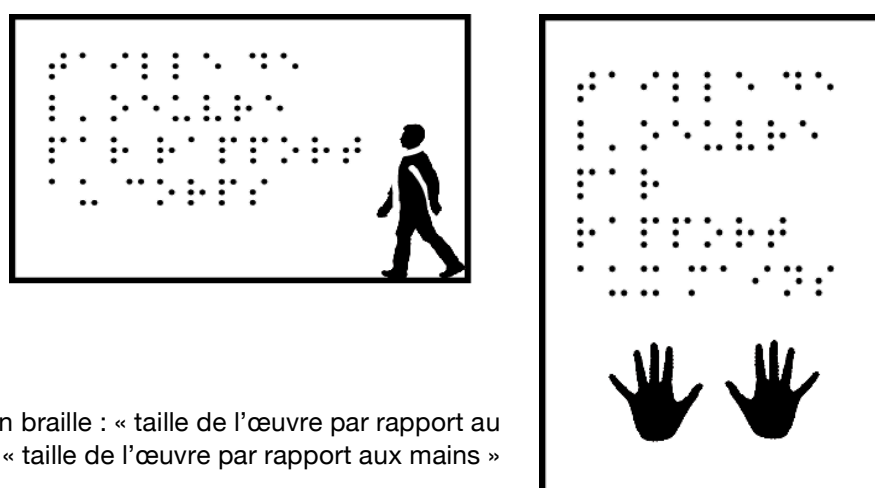


Figure 38. Maquettes thermogonflées sans texte



Texte en braille : « taille de l'œuvre par rapport au corps » et « taille de l'œuvre par rapport aux mains »

Figure 39. Maquettes thermogonflées avec texte

Dans la seconde partie de l'entretien, les participants doivent indiquer si les déclinaisons explorées sont perceptibles tactilement parmi les deux façons de représenter « les mains » et « les silhouettes » (plusieurs réponses sont possibles). Les déclinaisons sont présentées de manière alternée (cf. figure 40).

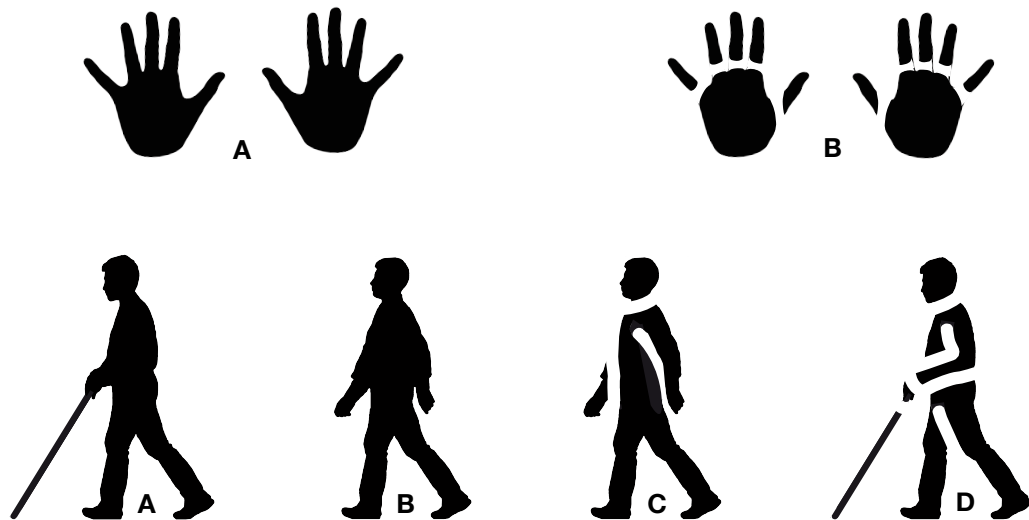


Figure 40. Déclinaisons graphiques tactiles

4.1.2.3. Résultats

Première partie des entretiens

Les réponses notées à la question « *que représente cette image ?* » avec le texte en braille et « en noir » lu ou bien énoncé indiquent deux types de réponses : celles liées à la lisibilité, du type « *ce sont des mains* » ou bien « *on voit les mains petites en rapport de l'œuvre* » qui se rapportent davantage à la compréhension du concept de la représentation. Pour cette raison, nous classons les résultats en deux catégories. D'une part, la lisibilité, c'est-à-dire l'identification de la forme, et, d'autre part, la compréhension du rôle de la représentation.

Ainsi, pour « les mains », sans texte en braille, onze personnes parmi vingt ont identifié des mains alors qu'aucun sujet parmi les vingt participants n'a compris spontanément le but de cette représentation. Parmi les réponses inexactes, nous en répertorions plusieurs relatives à des représentations végétales principalement, et aussi animales : « *des fleurs* », « *un vase avec une tige* », « *deux tulipes* », « *des plantes* », « *des branches* », « *un papillon* », « *un oiseau* », « *deux étoiles* ». Avec le texte en braille, six personnes supplémentaires comprennent qu'il s'agit de mains (au total dix-sept personnes sur vingt comprennent que ce sont des mains dessinées en relief). Parmi les dix-sept personnes qui accèdent à l'identification formelle quatre d'entre elles comprennent la fonction de la représentation. Pour les silhouettes, sans texte en

braille, treize personnes sur vingt identifient un personnage alors qu’aucun sujet parmi les vingt participants ne comprend spontanément le but de cette représentation. Nous considérons comme exactes les réponses qui évoquent : « *quelqu’un qui marche* », « *un (petit) bonhomme* », « *un (être) humain* », « *une personne* », « *le corps* », « *un piéton* », « *un homme* ». Avec le texte en braille, six personnes supplémentaires comprennent qu’il s’agit d’une silhouette (au total dix-neuf personnes sur vingt comprennent qu’il s’agit d’une silhouette dessinée en relief). Parmi les dix-neuf personnes qui identifient formellement la silhouette, quatre d’entre elles comprennent la fonction de la représentation : informer sur l’échelle de l’œuvre (cf. les résultats figure 41).

LISIBILITÉ ET COMPRÉHENSION DU CONCEPT

LISIBILITÉ DES MAINS SANS TEXTE	11/20
COMPRÉHENSION DES MAINS SANS TEXTE	00/20
LISIBILITÉ DES MAINS AVEC TEXTE (braille ou noir lu/texte énoncé)	06/20
COMPRÉHENSION DES MAINS AVEC TEXTE (braille ou noir lu/texte énoncé)	04/17
LISIBILITÉ DE LA SILHOUETTE SANS TEXTE	13/20
COMPRÉHENSION DE LA SILHOUETTE SANS TEXTE	00/20
LISIBILITÉ DE LA SILHOUETTE AVEC TEXTE (braille ou noir lu/texte énoncé)	06/20
COMPRÉHENSION DE LA SILHOUETTE AVEC TEXTE (braille ou noir lu/texte énoncé)	04/19

Figure 41. Synthèse des résultats de la partie 1 des entretiens

Seconde partie des entretiens

Les réponses à la question « *est-ce que vous trouvez cette proposition lisible ?* » sont synthétisées sous la forme de fréquences et indiquent que chaque représentation semble plutôt très lisible. Pour « les mains », la proposition A semble être légèrement plus lisible. Pour « la silhouette », la proposition C semble être la plus lisible parmi les quatre propositions (cf. figure 42).

ANALYSE DE LA LISIBILITÉ DES DESSINS UNIQUEMENT

Mains A	18/20
Mains B	15/20
Silhouette A	13/20
Silhouette B	14/20
Silhouette C	15/20
Silhouette D	10/20

Figure 42. Synthèse des résultats de la partie 2 des entretiens

4.1.2.4. Conclusions de cette expérimentation**Résultats liés au produit évalué**

Cette expérimentation nous permet de comprendre que la compréhension d'une représentation tactile se déroule en trois étapes (cf. figure 43) : l'exploration tactile (étape 1) conduit à l'identification formelle (étape 2). Cette identification mène à la compréhension du concept (étape 3) sachant que l'étape 2 semble être un prérequis pour l'étape 3. Ce résultat est conforme aux travaux de recherche de **[Hatwell, Martinez- Sarocchi 2000]** qui indiquent que l'utilisation d'une carte en relief pour les personnes aveugles « [...] requiert [...] à la fois de tenir compte de ses propriétés matérielles et d'accéder à ce qu'elle symbolise ».

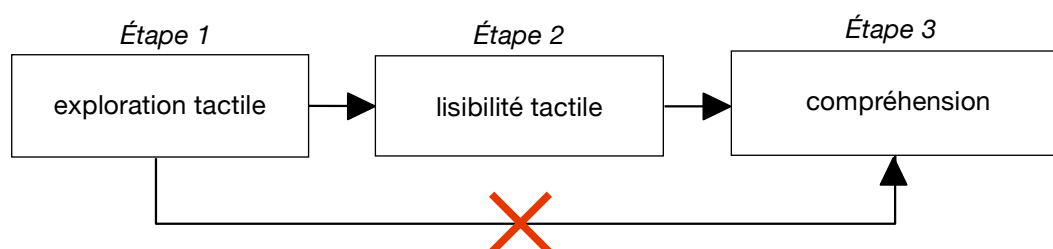


Figure 43. Étapes dans la compréhension d'une représentation tactile

Ensuite, les résultats de la première partie des entretiens montrent que le texte « en noir » et/ou en braille accompagnant la représentation graphique est indispensable pour la compréhension de la représentation tactile. Sans texte en braille, la représentation n'est pas comprise.

Enfin, la représentation semble plutôt très lisible tactilement de manière autonome et grâce au texte qui l'accompagne, car celui-ci semble bien décrire les éléments formels (les termes « silhouette » et « mains » y figurent). En revanche, il ne semble pas décrire suffisamment la fonction de la représentation.

Ces constats nous amènent à envisager une version 2 de la représentation tactile au sein de laquelle le texte serait associé aux dessins tactiles inspirés de la proposition A pour « les mains » et C pour « la silhouette ». Le texte qui accompagne le dessin doit être enrichi en donnant des informations sur le rôle de la représentation.

Résultats liés à la méthodologie de conception

Cette expérimentation permet de tester l'étape 2 et 3 du pré-modèle de démarche de conception de représentations tactiles. Nous pouvons indiquer comme partiellement validées nos deux étapes qui constituent cette démarche, dans la mesure où cette évaluation, dont les résultats sont mitigés, montre que :

- les maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » conçues semblent être utiles, car celles-ci permettent d'évaluer la pertinence ou pas d'une proposition tactile. Ces représentations intermédiaires permettent l'échange d'idées entre l'utilisateur en situation de handicap visuel et le concepteur voyant. Les résultats de ces entretiens sont complémentaires au transfert de connaissances théoriques, car il s'agit d'un apport d'informations « terrain » de la part de la population-cible ;
- la nécessité de deux cycles itératifs semble être en partie démontrée par les résultats qui mettent en évidence le fait que la première évaluation est une phase intermédiaire entre le transfert de connaissances théoriques et la mise en place de la représentation tactile au sein d'un musée. En effet, sans cette évaluation nous n'aurions pas identifié les points positifs et négatifs de nos propositions graphiques. Avec cette évaluation, nous montrons que la représentation égocentrée n'est pas suffisamment finalisée pour être appliquée à une installation tactile au sein d'un lieu d'exposition. L'analyse des remarques formulées par les participants permet de proposer une représentation qui tentera de répondre davantage aux besoins de la population-cible.

4.1.3. Deuxième cycle itératif : expérimentation 2

4.1.3.1. Objectifs

Il s'agit de valider l'hypothèse d'un pré-modèle de démarche de conception expérimentale (> cf. [partie 3.2.1](#)) qui permettrait de concevoir des représentations tactiles (cf. tableau 15). Cette démarche serait composée de trois étapes : le transfert de connaissances issu de la psychologie (étape 1) permettrait d'élaborer des sous-hypothèses de représentation matérialisées lors de la fabrication des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » (étape 2). Ensuite, ces maquettes seraient évaluées dans l'étape 3, au cours de deux cycles itératifs de conception : premier cycle itératif lors du développement initial et deuxième itération au moment de l'installation de la représentation tactile dans le cadre d'un projet de parcours (audio-) tactile au sein d'un musée (cycle 2 - expérimentation 2).

L'objectif de ces entretiens est aussi d'évaluer la représentation égocentrée du format réel de l'œuvre selon trois critères :

- la lisibilité de la signalétique tactile (les personnes interrogées identifieront-elles « le personnage » et « les mains » dessinés en relief ?) ;
- la compréhension (les visiteurs comprendront-ils le format réel de l'œuvre ?) ;
- l'utilité de la signalétique tactile (les visiteurs utiliseront-ils la signalétique tactile de manière spontanée/comment l'utiliseront-ils ?) ⁷⁰.

Ces trois critères ont pour but de valider l'hypothèse que la traduction tactile du format réel de l'œuvre, en utilisant le corps comme une référence, apporterait une information complémentaire aux données chiffrées, pour le visiteur aveugle et amblyope.

70. Nous rajoutons ce critère d'évaluation pour cette expérimentation car les représentations tactiles picturales et leurs notices explicatives ont été conçues à ce stade de nos travaux de recherche et permettent donc de tester la représentation égocentrée en fonction des éléments conçus pour le parcours tactile (notamment par rapport aux données chiffrées inscrites en braille et en gros caractères sur les notices). Cela nous permet de valider le besoin avec les utilisateurs aveugles et amblyopes.

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES TESTÉES	MATÉRIEL EXPÉRIMENTATION 2
HYPOTHÈSE 1 : LA MÉTHODOLOGIE	Étape 1 : transférer des connaissances	Deux représentations intermédiaires version 2 à évaluer à l'aide de deux panneaux explicatifs qui accompagnent les représentations tactiles picturales (> cf. annexes 1 et 2)
	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles	
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	
HYPOTHÈSE 2 : LE PRODUIT	Sous-hypothèse 2.1 : représentation égocentrée du format de l'œuvre	

Tableau 15. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre deuxième expérimentation

4.1.3.2. Protocole

Les participants

Pour cette évaluation, nous interrogeons deux personnes aveugles de naissance, deux personnes aveugles tardives et quatre personnes amblyopes soit au total, huit personnes en situation de handicap visuel (cf. tableau 16) âgées de 22 à 64 ans. Au préalable, nous réalisons un test-pilote avec un sujet aveugle qui nous permet de préciser le déroulement de nos entretiens. Nous rencontrons autant de personnes aveugles qu'amblyopes pour les raisons définies en introduction de l'expérimentation 1 (> cf. partie 4.1.2.2 en référence à [Thompson et al. 2006]). Il est important de noter que nous les interrogeons uniquement sur la représentation tactile des maquettes version 2 proposées (et non par rapport aux aspects visuels).

TYPES DE CÉCITÉ	NOMBRE DE PARTICIPANTS
Aveugles précoces	2
Aveugles tardifs	2
Amblyopes	4
TOTAL	8

Tableau 16. Participants - deuxième expérimentation

Le texte de la version 2 est modifié conformément aux conclusions tirées de l'expérimentation 1. Au lieu de : « *taille de l'œuvre par rapport au corps / aux mains* » est indiqué « *pour connaître le format de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension de la silhouette/des deux mains dessinées à votre gauche* » afin de mettre en évidence le rôle de cette représentation égocentrée. Le texte en gros caractères est imprimé sur un fond blanc, à l'aide de caractères typographiques Arial de la famille des linéales comme le préconise la norme **[NF ISO 15823]** et de couleur noire comme **[Ratelle et al. 2003]** le recommandent pour optimiser le contraste visuel coloré.

Les entretiens semi-dirigés

Huit personnes en situation de handicap visuel (qui n'ont pas participé à l'expérimentation 1) participent aux entretiens individuels semi-dirigés, d'une durée moyenne d'une heure, que nous organisons à l'aide de deux représentations picturales tactiles posées sur une table (sur un plan horizontal). Parmi les dix peintures transposées tactilement, nous choisissons celles de Juan Gris (représentation égocentrée basée sur la taille des mains – cf. annexe 1 et figure 44, à gauche) et de Bernard Piffaretti (représentation égocentrée basée sur la taille du corps – cf. annexe 2 et figure 44, à droite), car ces représentations de l'échelle réelle sont les plus petites donc les plus adaptées pour tester la lisibilité tactile. De manière aléatoire, nous présentons donc, à chacun des participants, la peinture tactile de Gris puis celle de Piffaretti (> cf. [explications relatives à leur fabrication, partie 1.1.3](#)) avec les éléments tactiles de compréhension écrits en français qui les accompagnent (cf. dispositifs tactiles utilisés, figure 44).

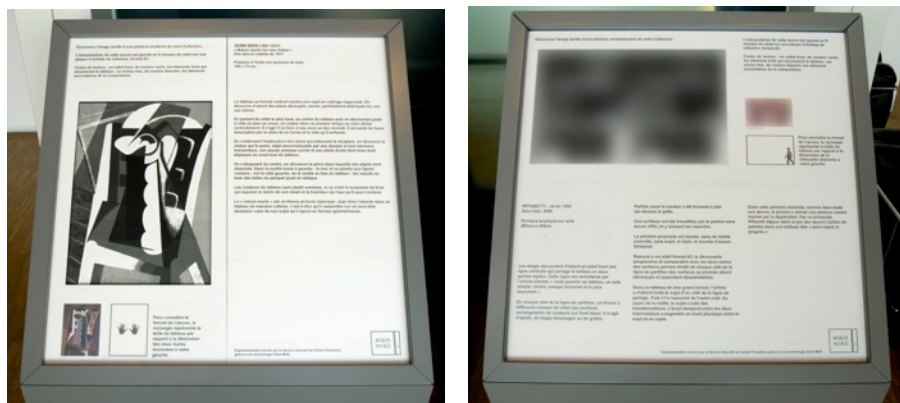


Figure 44. Représentations picturales tactiles et panneaux explicatifs de J. Gris (à gauche) et de B. Piffaretti (à droite)

Lors de la première phase de l'entretien, que nous enregistrons sur un support audiovisuel, nous observons chaque participant découvrant tactilement les panneaux. Avant de commencer l'exploration de manière autonome (sans aide de notre part), nous leur indiquons les dimensions de chaque panneau en effleurant leurs contours tactilement, puis nous leur indiquons verbalement la présence d'éléments tactiles tels que : un texte explicatif, un élément d'aide à l'exploration et une interprétation tactile de la peinture. Chaque participant explore autant de temps que nécessaire les œuvres et les informations qui les accompagnent principalement à l'aide de la procédure exploratoire qui consiste à suivre les contours des éléments en relief (le « suivi de contours » [Klatzky, Lederman 1987 ; 1993] [Hatwell 2007]) en verbalisant leurs actions, leurs remarques, le texte lu en braille, etc.

Dans la seconde phase de l'entretien, nous posons des questions ouvertes aux participants à partir d'un guide d'entretien préalablement rédigé (cf. tableau 17). Ces questions concernent, d'une part, les visites organisées dans les musées pour le public en situation de handicap visuel et, d'autre part, le format des œuvres qu'ils explorent. Par exemple, nous leur demandons s'ils participent à des visites tactiles proposées par les musées (cf. synthèse, tableau 18).

ÉTAPES LORS DE L'ENTRETIEN	MODALITÉS	TYPES DE QUESTIONS	DONNÉES RECUEILLIES
Étape 1	-	ouvertes	Profils des participants
Étape 2	Panneaux explicatifs explorés de manière autonome	ouvertes	Lisibilité tactile des représentations intermédiaires
Étape 3	Panneaux explicatifs puis explications verbales	ouvertes	Compréhension et utilité des représentations intermédiaires

Tableau 17. Étapes de la deuxième expérimentation - guide d'entretien

4.1.3.3. Résultats

Huit personnes déficientes visuelles participent à nos entretiens semi-directifs. Parmi elles, six sont intéressées par l'art moderne et contemporain et quatre d'entre elles participent régulièrement aux visites proposées par le musée français dans lequel

nous avons installé notre parcours tactile (cf. tableau 18). D'ailleurs, deux sujets ont déjà visité de manière autonome le parcours tactile qui est en libre accès puisqu'ils ont exploré « *Femme au chapeau* », l'œuvre de Pablo Picasso (sujet 5), la peinture tactile de Max Ernst et celle de Georges Rouault (participant 7).

QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4
types de cécité	tardif	amblyope	tardif	amblyope
fréquences des visites dans les musées / an	3-4 fois	2 fois	3-4 fois	moins d'une fois
intérêts pour les deux œuvres picturales présentées	oui	non	oui	non
déjà vus/touchés les deux œuvres présentées	non	non	non	non
QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8
types de cécité	amblyope	amblyope	congénital	congénital
fréquences des visites dans les musées / an	3-4 fois	-1 fois	-1 fois	1 fois
intérêts pour les deux œuvres picturales présentées	oui	oui	oui	oui
déjà vus/touchés les deux œuvres présentées	oui, touché et vu la peinture de Picasso	non	oui, touché la peinture de Rouault et d'Ernst	non

Tableau 18. Profils des huit participants

Pendant l'exploration filmée, nous remarquons que six participants sur huit utilisent la représentation égocentrée pendant l'exploration (chacun d'entre eux a été en contact une fois avec la représentation dessinée en relief sur les deux panneaux).

En réponse à la question « *pouvez-vous m'indiquer le format réel des deux œuvres que vous venez de toucher ?* », les huit participants nous indiquent de manière exacte

le format réel des peintures en utilisant les informations chiffrées indiquées en introduction des textes explicatifs en braille. Ce résultat montre que les participants ont l'habitude d'utiliser les éléments chiffrés de dimensions et révèle aussi qu'ils sont braillistes car ils ont eu accès à ces informations écrites en braille ⁷¹ (cf. tableau 19).

QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4
braillistes	oui	oui	oui	oui
représentation utilisée par les participants	oui (une fois)	non	oui (une fois)	non
indications du format de l'œuvre exacte ?	oui	oui	oui	oui
moyens utilisés pour décrire le format de l'œuvre exacte ?	données chiffrées	données chiffrées	données chiffrées	données chiffrées
QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8
braillistes	oui	oui	oui	oui
représentation utilisée par les participants	oui (une fois)	oui (une fois)	oui (une fois)	oui (une fois)
indications du format de l'œuvre exacte ?	oui	oui	oui	oui
moyens utilisés pour décrire le format de l'œuvre exacte ?	données chiffrées	données chiffrées	données chiffrées et représentation égocentrée	données chiffrées

Tableau 19. Résultats de l'exploration filmée

Spontanément, six participants utilisent la représentation tactile pendant l'exploration. Ces six sujets qui l'utilisent en ont compris le rôle sans explications verbales de ma part. Les participants 2 et 4, qui ne l'utilisent pas et ne comprennent pas l'objectif de cette représentation égocentrée, en comprennent le rôle avec des explications verbales. À la fin de chaque entretien, chaque sujet comprend donc seul ou à l'aide

71. Les braillistes désignent les personnes qui savent lire les caractères braille.

d'explications verbales le rôle de cette représentation.

Parmi les huit sujets, six d'entre eux, interrogés sur l'utilité de cette aide, pensent que cette représentation égocentrée est utile car complémentaire aux données chiffrées alors que les participants 4 et 5 la considèrent inutile (cf. tableau de synthèse n° 20).

QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4
lisibilité de la représentation sans explications	oui	oui, mais uniquement pour «les mains»	oui	oui
compréhension sans explications	oui	non	oui	non
compréhension avec explications verbales	oui	oui	oui	oui
utilité avec explications verbales	oui	oui	oui	non
commentaires	complémentaire aux données chiffrées	complémentaire aux données chiffrées	complémentaire aux données chiffrées	perturbant
QUESTIONS ABORDÉES	sujet 5	sujet 6	sujet 7	sujet 8
lisibilité de la représentation sans explications	oui	oui	oui	oui
compréhension sans explications	oui	oui	oui	oui
compréhension sans explications verbales	oui	oui	oui	oui
utilité avec explications verbales	non	oui	oui	oui
commentaires	les données chiffrées suffisent	complémentaire aux données chiffrées	complémentaire aux données chiffrées	complémentaire aux données chiffrées

Tableau 20. Résultats des questions ouvertes

Les éléments graphiques sont plutôt lisibles, c'est-à-dire que les participants identifient plutôt bien les formes dessinées en relief. En effet, tous les participants

comprennent que deux mains sont dessinées alors que sept d'entre eux comprennent qu'une silhouette est dessinée sans aucune explication de ma part.

4.1.3.4. Conclusions de cette expérimentation

Résultats liés au produit évalué

L'évaluation n'a pas lieu en situation réelle dans le musée, c'est-à-dire, pour le visiteur, avec l'aide d'un conférencier, d'un audioguide ou bien d'un accompagnateur susceptible de répondre à ses questions immédiatement pour l'aider à avancer dans son exploration. Les seules indications données aux participants concernent le format de chaque panneau par un suivi de contours des supports tactiles et l'indication sur ceux-ci de trois types d'informations (texte explicatif, peinture tactile et dispositif d'aide à l'exploration). Cela permet d'éviter, à cause du caractère séquentiel de la perception tactile, que le sujet n'explore pas la totalité des éléments qui se trouvent devant lui du fait qu'il ne connaisse pas le format des panneaux se trouvant à sa disposition. Le test-pilote nous montre que cette étape est indispensable pour garantir une exploration des supports tactiles dans leur ensemble.

Bien que cette évaluation soit réalisée avec un nombre réduit de participants, les résultats sont plutôt encourageants en termes de lisibilité tactile, de compréhension du rôle de la représentation égocentrée et d'utilité. Ils viennent ainsi confirmer l'accueil positif de ce dispositif tactile au sein du parcours tactile. La synthèse des résultats présentée dans le tableau 21, montre que la représentation égocentrée est lisible dans quinze cas sur seize. Sans explications verbales, six participants sur huit comprennent le rôle de cette représentation. De même, six d'entre eux la jugent utile.

QUESTIONS ABORDÉES	
brailleistes	8/8
représentation utilisée par les participants	6/8
indication exacte du format de l'œuvre exacte ?	8/8
moyens utilisés pour décrire le format de l'œuvre exacte ?	8/8 utilisent les données chiffrées
lisibilité de la représentation sans explications	7,5/8
compréhension de la représentation sans explications	6/8
compréhension de la représentation avec explications verbales	8/8
utilité de la représentation avec explications verbales	6/8

commentaires sur la représentation

6/8 « complémentaire »
 1/8 « perturbant »
 1/8 « inutile »

Tableau 21. Synthèse des résultats des entretiens

Ces premiers entretiens permettent de préciser le rôle de cette représentation tactile égocentrée pour les usagers. Elle est considérée comme complémentaire aux données chiffrées, car elle ne leur transmet pas d'information précise mais leur permet de juger des proportions réelles de l'œuvre, par comparaison, en utilisant un étalon connu qu'est le corps humain.

Résultats liés à la méthodologie de conception

Cette deuxième expérimentation permet de tester les étapes 1, 2 et 3 du pré-modèle de démarche de conception de représentations tactiles.

Dans cette évaluation, nous validons partiellement l'étape 1 qui consiste à transférer des connaissances en sciences cognitives vers la conception de produits. Nous la considérons comme en partie validée, car les résultats montrent que les participants à nos entretiens jugent la représentation égocentrée plutôt lisible, compréhensible et utile. Toutefois, nous testerons cette hypothèse une nouvelle fois dans l'expérimentation 4 (> cf. [partie 4.2.3](#)) pour la valider complètement.

Nous pouvons indiquer comme validées, les étapes 2 et 3 de cette démarche, car cette évaluation montre pour la seconde fois que :

- la conception de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » est utile pour communiquer des propositions tactiles, échanger des idées et les évaluer ;
- la nécessité de planifier deux cycles itératifs de conception semble être démontrée par les résultats qui mettent en évidence une progression dans les réponses correctes et les résultats positifs de la part des sujets aveugles et amblyopes.

4.1.4. Deux cycles itératifs : synthèse des expérimentations 1 et 2**4.1.4.1. Conclusions liées à la méthodologie de conception**

L'un des objectifs de nos deux premières expérimentations est de valider/d'invalider notre hypothèse à propos de la méthodologie de conception, voire d'affiner les étapes de cette démarche, en fonction des résultats des deux évaluations (cf. tableau 22).

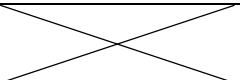
HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES	EXPÉRIMENTATIONS	
HYPOTHÈSE 1 : LA MÉTHODOLOGIE	Étape 1 : transférer des connaissances		
	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles		
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	expé. 1	expé. 2

Tableau 22. Synthèse des étapes testées en lien avec la méthodologie

La nécessité de transférer des connaissances est testée dans l'expérimentation 2. Les résultats de l'expérimentation 2 étant plutôt positifs relativement à nos trois critères (lisibilité, compréhension et utilité), nous pouvons donc en conclure que le transfert de connaissances fonctionne puisque ce produit semble répondre aux besoins des visiteurs en situation de handicap visuel.

La conception de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » est mise à l'épreuve au cours des deux expérimentations. Ces deux évaluations montrent que ces représentations intermédiaires permettent de communiquer des propositions tactiles et sont des supports d'évaluation entre un concepteur voyant et des utilisateurs en situation de handicap visuel.

La mise en place des deux cycles itératifs de conception est organisée au cours des deux expérimentations successives : l'expérimentation 1 est le premier cycle itératif et l'expérimentation 2, le deuxième cycle. Les résultats de nos deux expérimentations montrent une progression des résultats positifs de la part de la population-cible et soulignent donc la nécessité de deux cycles itératifs. En effet, les résultats de la première évaluation montrent que la représentation tactile n'est pas suffisamment finalisée, car la version 1 est lisible mais pas compréhensible, alors que la deuxième évaluation montre que la version 2 est plutôt compréhensible et utile en plus d'être lisible.

L'expérimentation 2 permet de préciser les critères d'évaluation au cours du second cycle itératif de conception : lisibilité, compréhension et utilité pour valider le besoin avec les utilisateurs.

4.1.4.2. Conclusions liées au produit

Les deux évaluations sont nécessaires, car elles permettent d'améliorer la représentation tactile. Les résultats de la deuxième évaluation soulignent le caractère lisible, compréhensible et utile de cette représentation sur un panneau explicatif. Ces résultats positifs valident donc notre hypothèse de recherche 2.1 qui vise à concevoir une représentation complémentaire aux données chiffrées du texte en braille (cf. tableau 23).

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES	EXPÉRIMENTATIONS	
HYPOTHÈSE 2 : LE PRODUIT	Sous-hypothèse 2.1 : représentation égocentrée du format de l'œuvre	expé. 1	expé. 2

Tableau 23. Synthèse de la sous-hypothèse testée en lien avec le produit conçu

La validation de cette hypothèse de représentation avec la population-cible permet d'aboutir à notre premier concept : pour concevoir une représentation tactile d'œuvre d'art, il semble être nécessaire d'indiquer le format réel de l'œuvre de manière égocentrée, en complément des données chiffrées, afin que les visiteurs en situation de handicap visuel se représentent mentalement la taille de l'œuvre, ses proportions réelles.

4.2. Expérimentations 3 et 4

4.2.1. Contexte des deux dernières expérimentations : *La Terre vue du ciel* de Yann Arthus-Bertrand

« Regards tactiles » sont des expositions itinérantes conçues et développées par le groupe Alain Mikli International, à l'initiative de Yann Arthus-Bertrand et d'Alain Mikli. Depuis 2003, elles ont été installées dans plusieurs pays dont la Norvège, l'Angleterre, l'Italie, le Japon, l'Espagne, l'Allemagne, le Portugal, etc. (cf. figure 45). Ces expositions sont composées de supports monomatière, réalisés à partir de plaques en acétate de cellulose de huit millimètres d'épaisseur qui laissent apparaître, par usinage à commande numérique, plusieurs niveaux de relief.



Figure 45. Les expositions itinérantes « Regards tactiles »

Depuis 2009, nous sommes chargés d'effectuer un transfert de technologie à partir d'un procédé de prototypage rapide : l'impression 3D à base de poudre de plâtre dans le but de concevoir une nouvelle génération d'expositions « Regards tactiles » ⁷² (pour plus de détails sur cet apport industriel, > cf. partie 5.3). La mise au point du process constitue notre livrable industriel et les représentations intermédiaires fabriquées sont utilisées pour nos expérimentations. C'est dans ce contexte que nous réalisons nos expérimentations 3 et 4.

4.2.2. Premier cycle itératif : expérimentation 3

4.2.2.1. Objectifs

Du point de vue méthodologique, cette expérimentation a pour but de valider, pour la seconde fois, le transfert de connaissances des sciences cognitives vers la conception de produit qui nous permet de mettre en évidence la notion de contrastes tactiles. Les données recueillies grâce à ce questionnaire ont pour objectif de guider la conception de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » au cours de notre deuxième cycle itératif de conception. Nous tentons donc aussi de valider définitivement la nécessité de deux cycles itératifs pour concevoir une représentation tactile (cf. tableau 24).

72. Ce projet a bénéficié d'une aide régionale à l'innovation et au transfert de technologie (ARITT) de la part du CRITT Méca devenu Centre francilien de l'innovation (CFI). Les travaux de recherche et de développement ont été menés en partenariat avec M. Nicolas Hueber du laboratoire PRD installé au Centre Arts et Métiers ParisTech de Paris.

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES TESTÉES	MATÉRIEL EXPÉRIMENTATION 3
HYPOTHÈSE 1 : LA MÉTHODOLOGIE	Étape 1 : transférer des connaissances	Questionnaire sur la représentation tactile des éléments naturels de <i>La Terre vue du ciel</i>
	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles	
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	
HYPOTHÈSE 2 : LE PRODUIT	Sous-hypothèse 2.2 : contrastes tactiles	

Tableau 24. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre troisième expérimentation

Du point de vue du produit à concevoir, c'est-à-dire par rapport aux photographies de *La Terre vue du ciel* à réaliser en relief, l'objectif de cette troisième expérimentation est de valider l'hypothèse que les contrastes tactiles amélioreraient la lisibilité et la compréhension tactile des œuvres en orientant la conception des niveaux de relief et des états de surface (les textures) en fonction de l'analyse des éléments naturels présentés dans ces photographies. En effet, s'agissant de photographies de paysages, l'eau, le sable, la roche, le ciel et la végétation sont des éléments naturels récurrents dans ces prises de vue (cf. figure 46). Pour cette raison, nous associons notre synthèse sur les contrastes tactiles ([diagramme d'Ishikawa > cf. partie 3.2.2.2](#)) à ces éléments naturels pour savoir s'il est possible d'en dégager des premiers éléments de référentiel tactile.



Figure 46. Exemples de photographies de *La Terre vue du ciel*

4.2.2.2. Protocole

Les participants

Pour ce questionnaire, nous interrogeons huit personnes aveugles de naissance, huit personnes aveugles tardives et seize personnes amblyopes soit, au total, trente-deux personnes en situation de handicap visuel (cf. tableau 25). Nous rencontrons autant de personnes aveugles qu'amblyopes pour les raisons définies en introduction de l'expérimentation 1 (> cf. [partie 4.1.2.2 en référence à \[Thompson et al. 2006\]](#)).

TYPES DE CÉCITÉ	NOMBRE DE PARTICIPANTS
Aveugles précoces	8
Aveugles tardifs	8
Amblyopes	16
TOTAL	32

Tableau 25. Participants - troisième expérimentation

Les volontaires qui acceptent de participer à cette expérimentation, soit, au total, trente-deux personnes aveugles et amblyopes âgées de 14 à 87 ans résidant en France, répondent à notre questionnaire par téléphone.

Le questionnaire

Le questionnaire construit en deux parties (cf. tableau 26) nécessite un entretien téléphonique d'une heure en moyenne par personne interrogée. La première partie de l'entretien est composée de questions ouvertes relatives à la représentation de l'eau, du ciel, de la végétation, du sable et de la roche. Par exemple, nous leur demandons « *comment représenteriez-vous l'eau ?* » en leur précisant que nous menons une recherche sur la représentation d'éléments à l'état naturel (précision apportée suite à la réalisation d'un test-pilote). Dans un second temps, les cinq éléments naturels préalablement cités sont mis en relation avec huit descripteurs tactiles sous la forme de questions semi-ouvertes, leur laissant la possibilité de proposer un descripteur de manière spontanée.

Les huit propositions sont classées par type de contrastes comme indiqué dans le diagramme d'Ishikawa (> cf. [partie 3.2.2.2](#)), par exemple, la demande est : « *L'eau, la représenteriez-vous plutôt avec une matière chaude, froide, lisse, rugueuse, dure, souple, arrondie, géométrique ou bien autrement ?* » Les personnes interrogées ont la possibilité d'indiquer autant de grandeurs tactiles qu'elles souhaitent et les questions relatives aux éléments naturels sont posées de manière alternée.

ÉTAPES LORS DE L'ENTRETIEN	MODALITÉS	TYPES DE QUESTIONS	DONNÉES RECUEILLIES
Étape 1	Questionnaire lu aux participants	ouvertes	Données spontanées sur la représentation d'éléments tactiles
Étape 2	Questionnaire lu aux participants	semi-ouvertes	Données spontanées sur la représentation d'éléments tactiles et données à partir du diagramme d'Ishikawa préalablement défini

Tableau 26. Étapes de la troisième expérimentation - guide d'entretien

Nous demandons aux participants de verbaliser la représentation mentale de ces éléments naturels, ces sensations verbalisées étant liées à leurs expériences tactiles et/ou visuelles passées. Cette expérimentation a pour objectif de recueillir uniquement les sensations tactiles qui peuvent être communes à l'expérience des personnes

aveugles et amblyopes. Nous voulons associer ces sensations tactiles à des représentations tactiles spécifiques liées au geste accompli au contact d'un support en relief. Ces contrastes sont répartis par famille en fonction des procédures exploratoires et des matériaux qu'il est possible d'y associer : effet thermique/de température, de dureté, de textures, de formes et, dans certains cas (pour les objets à manipuler, c'est-à-dire en volume et non plus en relief), un effet tactile lié au poids de l'objet.

4.2.2.3. Résultats

Données spontanées recueillies

Les réponses spontanées recueillies à partir des questions ouvertes puis semi-ouvertes sont répertoriées sous la forme de tableaux récapitulatifs par élément naturel en fonction de la fréquence des réponses données.

EAU	
fréquences	descripteurs
18	vagues
5	ondulant
5	traits
4	mouvement
3	doux
2	gouttes d'eau, malléable, molle, mouillée, rayures, remous, rides, tiède
1	bulles, ça bouge, fluide, frais, gélatineuse, glisse, granuleuse, lignes ondulées, liquide, pénétrable, plane, traits horizontaux, traits ondulés, visqueuse

Tableau 27. Synthèse des descripteurs relatifs à l'eau énoncés par les trente-deux participants

Parmi les descripteurs tactiles énoncés par nos trente-deux sujets, le terme « vagues » est évoqué dix-huit fois, c'est-à-dire par plus de la moitié des participants (cf. tableau 27).

CIEL	
fréquences	descripteurs
17	nuages
5	avec soleil
4	oiseau
3	doux
2	avion, courbes, en vide, granuleux, plane
1	bombé, étoiles, formes diverses, flou, frais, gouttes de pluie, irrégulier, lourd, montgolfière, ouaté, plat, points, poreux, relief, s'enfoncer, tiède

Tableau 28. Synthèse des descripteurs relatifs au ciel énoncés par les trente-deux participants

Dix-sept sujets ont évoqué le terme « nuages » pour représenter tactilement le ciel, soit plus de la moitié des participants (cf. tableau 27).

VÉGÉTATION	
fréquences	descripteurs
3	traits, traits verticaux, serré
2	des croix
1	alignement, biscornu, cercle, compacte, courbes, courte, dense, dentelé, doux, élastique, en pointillés, feuilles, fin, formes découpées, flèche, frais, granulé, malléable, ondulations, ondulé, ovale, pastilles, piquante, pyramide, pointu, quadrillé, rayé, séché, strié, tarabiscoté, tiède, touffu, traits et ronds, ronds

Tableau 29. Synthèse des descripteurs relatifs à la végétation énoncés par les trente-deux participants

Aucun descripteur n'a été cité fréquemment pour représenter tactilement la végétation.

SABLE	
fréquences	descripteurs
13	grains, fin
11	granuleux
3	des points, doux
2	fluide, pointillés, tiède
1	creux, humidité, léger, malléable, monticules, mouvant, parsemé, particules, pas régulier, plat, poussières, râpeux, séparation, serré, traversé

Tableau 30. Synthèse des descripteurs relatifs au sable énoncés par les trente-deux participants

Les termes « grains » et « fin » sont évoqués treize fois et le terme « granuleux » est énoncé onze fois pour décrire la manière dont le sable serait représenté tactilement.

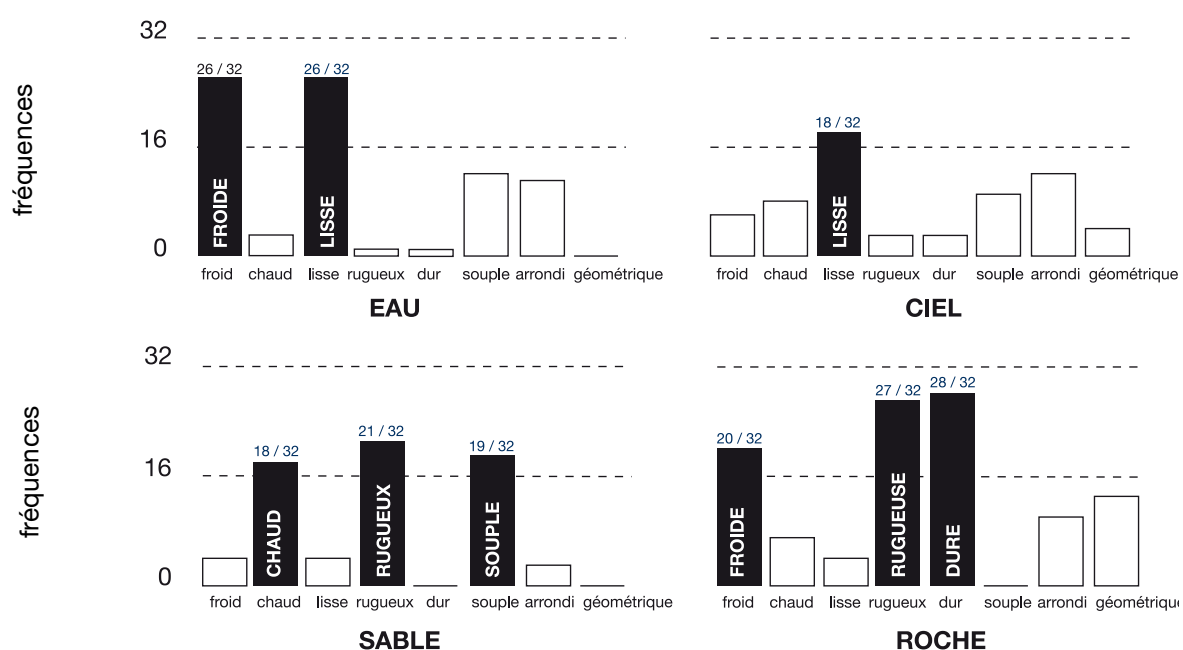
ROCHE	
fréquences	descripteurs
4	granuleux, pointue
3	épaisse, irrégulière
2	arêtes, arrondi, compacte, coupant, creux, figures géométriques, formes triangulaires
1	accidenté, aspérités, bosses, caillouteux, cassé, doux, formes carrées, frais, friable, grains, humide, pics, pointes, rebords accidentés, relief, rond, sableux, saillant, stries obliques

Tableau 31. Synthèse des descripteurs relatifs à la roche énoncés par les trente-deux participants

Aucun descripteur n'est cité fréquemment pour représenter tactilement la roche.

Données recueillies en fonction du diagramme d'Ishikawa préalablement établi

La fréquence d'évocation des grandeurs tactiles permet de caractériser tactilement les cinq éléments naturels (cf. figure 47).



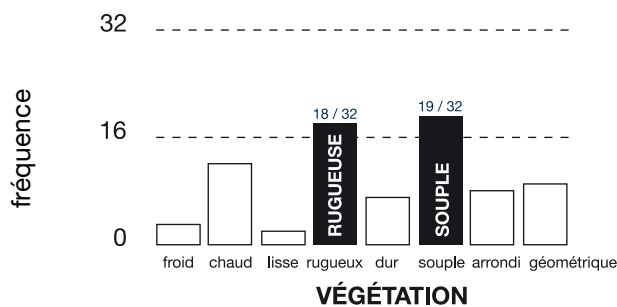


Figure 47. Synthèse des résultats sous forme de fréquences

D'après les résultats de l'expérimentation 3, l'eau serait représentée par une matière froide et lisse au toucher. Le ciel serait lisse. Une matière souple et rugueuse pourrait représenter le sable. La roche pourrait être évoquée par une matière froide et dure dont l'état de surface serait rugueux. Enfin, la végétation serait représentée par une matière rugueuse et souple.

4.2.2.4. Conclusions de cette expérimentation

Résultats liés aux contrastes tactiles évalués

Les résultats de la partie 1 et 2 du questionnaire sont complémentaires, car ils permettent de préciser les textures de chaque élément naturel en relief (cf. tableau 32). Cette expérimentation met en évidence des résultats intéressants qui pourraient conduire à la conception d'un référentiel tactile commun aux personnes aveugles, amblyopes (mais aussi voyantes, avec un groupe témoin qui participerait à une expérimentation complémentaire).

Les réponses formulées par les participants font appel à leurs expériences quotidiennes, à leurs souvenirs (visuels et/ou tactiles) et aussi aux documents tactiles explorés. En effet, certaines personnes interrogées font référence aux cartes de géographie thermogonflées utilisées au cours de leur scolarité, par exemple.

FAMILLES / TYPES DE CONTRASTES				
	THERMIQUE	DURETÉ	TEXTURES	
EAU	froid		lisse	vagues
CIEL			lisse	nuages
SABLE	chaud	souple	rugueux	grains fins granuleux
ROCHE	froid	dure	rugueux	
VÉGÉTATION		souple	rugueux	

Tableau 32. Synthèse des résultats des questions ouvertes et semi-ouvertes

Résultats liés à la méthodologie de conception

Le transfert de connaissances fonctionne, car les résultats obtenus sont exploitables et permettent de poursuivre la conception des maquettes tactiles de photographies. Les résultats montrent une nouvelle fois que les deux cycles itératifs sont nécessaires, car les informations obtenues sur les contrastes tactiles d'éléments naturels seront utilisées au cours du deuxième cycle itératif.

4.2.3. Deuxième cycle itératif : expérimentation 4

4.2.3.1. Objectifs

Cette dernière et quatrième expérimentation a plusieurs objectifs (cf. tableau 33) :

- D'un côté, il s'agit de valider la méthodologie dont nous déterminons les étapes au cours des expérimentations précédentes (notamment les expérimentations 1 et 2 qui ont permis de la pré-modéliser). Ici, l'objectif est de valider à nouveau les étapes 2 et 3 de cette démarche dans le cadre d'un deuxième projet de conception. L'étape 2 vise à concevoir des représentations intermédiaires à partir des données recueillies dans l'expérimentation 3. L'étape 3 consiste à planifier deux cycles itératifs pour concevoir les représentations tactiles de *La Terre vue du ciel* ;
- Par ailleurs, l'objectif est aussi de valider le concept de contrastes tactiles dont nous faisons l'hypothèse qu'ils amélioreraient la lisibilité des éléments en relief, et par conséquent, leur compréhension. Les résultats recueillis concernent donc uniquement les aspects tactiles de nos représentations intermédiaires (niveaux de relief et états de surface mais pas les aspects colorés que nous avons rendus par impression 3D).

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES TESTÉES	MATÉRIEL EXPÉRIMENTATION 4
HYPOTHÈSE 1 : LA MÉTHODOLOGIE	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles	Deux représentations intermédiaires des éléments tactiles de <i>La Terre vue du ciel</i> sous la forme de maquettes en relief
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	
HYPOTHÈSE 2 : LE PRODUIT	Sous-hypothèse 2.2 : contrastes tactiles	

Tableau 33. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre quatrième expérimentation

4.2.3.2. Protocole

Les participants

Nous rencontrons douze personnes en situation de handicap visuel âgées de 19 à 61 ans auxquelles nous demandons si elles sont aveugles de naissance, aveugles tardives ou bien amblyopes. Au total, trois personnes aveugles congénitales, trois personnes aveugles tardives et six personnes amblyopes (cf. tableau 34) participent à ces entretiens semi-dirigés à la suite d'un test-pilote qui nous a permis de modifier notre protocole expérimental. Même si notre expérimentation a pour objectif de valider un concept basé sur les aspects tactiles des représentations, nous équilibrons notre échantillon de personnes interrogées, c'est-à-dire que nous interrogeons autant de personnes aveugles qu'amblyopes pour les raisons que nous expliquons en introduction de l'expérimentation 1 (> cf. [partie 4.1.2.2 en référence à \[Thompson et al. 2006\]](#)). Les conclusions tirées de cette expérimentation ne sont pas traitées par type de cécité. Elles concernent uniquement les aspects tactiles des représentations intermédiaires physiques que nous présentons aux utilisateurs, les couleurs de la photographie étant rendues par le procédé d'impression 3D mais ne sont pas l'objet de cette évaluation.

TYPES DE CÉCITÉ	NOMBRE DE PARTICIPANTS
Aveugles précoces	3
Aveugles tardifs	3
Amblyopes	6
TOTAL	12

Tableau 34. Participants - quatrième expérimentation

Les entretiens

À l'aide de deux prototypes de la photographie « Caravanes de dromadaires près de Fachi » (cf. figures 48 et 49), nous interrogeons plusieurs personnes à propos de la lisibilité des éléments tactiles, de la compréhension de l'image et de l'utilité d'introduire des contrastes tactiles dans la transposition de photographies (contrastes de textures et de formes testés dans cette expérimentation). Cette expérimentation est basée uniquement sur l'évaluation des aspects tactiles de nos représentations.

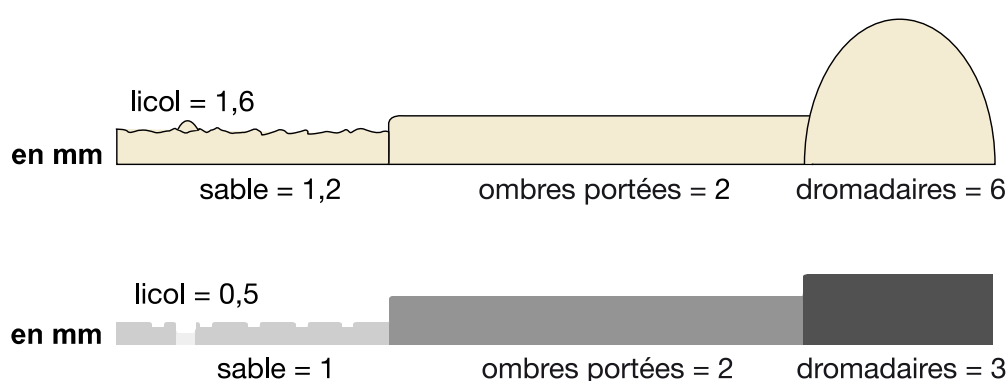


Figure 48. Schémas du relief des deux représentations intermédiaires

Le relief de la représentation tactile réalisé par usinage à commande numérique est schématisé figure 48 (schéma du dessous). Dans la représentation intermédiaire fabriquée par impression 3D (cf. schéma du dessus, figure 48), la surface lisse des ombres portées se distingue de la surface rugueuse du sable ⁷³. Il s'agit d'un contraste de textures que nous introduisons dans cette maquette en relief. Dans cette même représentation, nous différencions la surface plate des ombres portées de la forme arrondie des dromadaires en vue de tester notre hypothèse à propos des contrastes tactiles.

Cette expérimentation se déroule sous la forme d'entretiens individuels semi-dirigés à l'aide d'un guide d'entretien, d'une durée moyenne d'une heure. Globalement, ils sont

73. Texture déterminée suite aux données recueillies à propos de la représentation tactile des éléments naturels dans l'expérimentation 3. Toutefois, nous ne représentons que la texture du sable (granuleuse) à cause des limites techniques de la technologie utilisée pour la fabrication de nos maquettes tactiles.

organisés en trois étapes. Tout d'abord, nous établissons le profil des participants, puis nous disposons les photographies les unes à côté des autres sur une table (droite/gauche de manière alternée) afin que les participants puissent explorer de manière autonome les représentations (nous avons indiqué préalablement le format des représentations intermédiaires aux participants par « un suivi de contours » du format rectangulaire des représentations). Enfin, nous lisons à haute voix un texte introductif ⁷⁴ qui vise à donner des informations générales sur les photographies présentées, car nous avons noté qu'il est nécessaire d'orienter contextuellement la présentation d'une représentation tactile pour accéder à sa compréhension [Costes et al. 2007].



Figure 49. Photographies des maquettes

Dans un premier temps, chaque participant explore de manière autonome les deux photographies présentées dans un ordre alterné sans indication verbale de notre part. Ensuite, nous leur posons deux questions ouvertes sur la lisibilité :

- « *quel(s) élément(s) identifiez-vous ?* »
- « *y a-t-il une représentation sur laquelle vous identifiez mieux les éléments en relief ?* »

À partir de leurs remarques relatives à la lisibilité, nous leur posons des questions par rapport à leur compréhension de la représentation (« *que représente cette image ?* ») sur la représentation préalablement sélectionnée parmi les deux présentées, puis sur

74. Le texte introductif lu à haute voix est celui qui a été rédigé en 2003 pour la première exposition itinérante « Regards tactiles » (> cf. partie 1.1.3) : « Depuis des décennies, les Touareg parcourent régulièrement avec leurs caravanes les 610 km qui séparent la ville d'Agadez des salines de Bilma, pratiquant le commerce traditionnel du sel. Attachés les uns derrière les autres et guidés par un homme de tête, les dromadaires circulent en convoi au rythme de 40 km par jour, malgré des températures atteignant 46 °C à l'ombre et des charges de près de 100 kg par animal. Trois de ces caravanes sont ici photographiées du ciel, parfaitement à la verticale. Les dromadaires vus ainsi ne sont reconnaissables que par leurs ombres (parfaitement lisses) projetées sur le sol par un soleil rasant (situé dans votre dos). »

l'utilité des contrastes tactiles (cf. tableau 35). Nous reprenons le processus de compréhension tel que nous l'avons identifié dans l'expérimentation 1 (exploration tactile, lisibilité puis compréhension) afin de déterminer les critères d'évaluation ainsi que le critère « utilité » de l'expérimentation 2 dans le but de valider le besoin.

ÉTAPES LORS DE L'ENTRETIEN	MODALITÉS	TYPES DE QUESTIONS	DONNÉES RECUEILLIES
Étape 1	-	ouvertes	Profil des participants
Étape 2	Représentations intermédiaires sans texte explicatif lu	ouvertes	Lisibilité des deux représentations intermédiaires
Étape 3	Représentations intermédiaires avec texte explicatif lu	ouvertes	Compréhension de la représentation intermédiaire choisie et utilité des contrastes tactiles

Tableau 35. Étapes de la quatrième expérimentation - guide d'entretien

4.2.3.3. Résultats

Parmi les douze participants, les résultats montrent que deux d'entre eux touchent au moins une représentation tactile de Yann Arthus-Bertrand et se souviennent en particulier de deux représentations tactiles de *La Terre vue du ciel* : le sujet 4 se souvient avoir touché l'image intitulée « Le Corcovado surplombant la ville de Rio de Janeiro » et le sujet 7 a exploré tactilement l'image « Le World Trade Center » (cf. tableau 36).

QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4
types de cécité	tardif	tardif	congénital	congénital
déjà vus/touchés les photos présentées	non	non	non	oui, touché. Se souvient de la représentation du Corcovado
QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8

types de cécité	amblyope	amblyope	congénital	amblyope
déjà vus/touchés les photos présentées	non	non	oui, touché. Se souvient de la représentation du World Trade Center	non
QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Sujet 12
types de cécité	amblyope	amblyope	tardif	amblyope
déjà vus/touchés les photos présentées	non	non	non	non

Tableau 36. Profils des douze participants

Les deux premières questions, dont la synthèse des résultats est présentée tableau 37 (cf. trois premières lignes dans le tableau, pour chaque sujet), portent uniquement sur la lisibilité des éléments en relief, car, sans accompagnement verbal de notre part quant au contexte, l'accès à la compréhension est complexe [Costes et al. 2007]. Nous considérons comme exacte(s) la description verbale et/ou la distinction tactile des quatre éléments qui composent la représentation, à savoir : la surface granuleuse, les formes irrégulières plates, les fils et les formes arrondies décrits avec ces termes ou leurs synonymes.

Les éléments tactiles sont plutôt très lisibles, car onze personnes formulent des réponses correctes concernant les éléments en relief à identifier. Parmi l'ensemble des participants, onze d'entre eux préfèrent la représentation réalisée par impression 3D. Le sujet 3 qui n'identifie pas tous les éléments en relief (il n'a pas identifié le fil, c'est-à-dire le licol qui relie chaque dromadaire) préfère le contact de la représentation usinée, car il perçoit la matière « *plus chaude au toucher* ».

Les onze participants qui identifient les quatre éléments principaux en relief choisissent de poursuivre le travail de compréhension sur la représentation faite par impression 3D. Leurs commentaires indiquent qu'ils jugent que les éléments tactiles sont : « *plus en relief* », « *plus grands* », qu'il y a « *plus de différences dans les textures* », etc. (cf. 3^e ligne pour chaque participant dans le tableau 37).

QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4
lisibilité des éléments en relief	exact	exact	inexact	exact
préférences à propos de la lisibilité (I3D ou usinage)	I3D ⁷⁵	I3D	usinage	I3D
commentaires sur la lisibilité	« Moins tassés »	« Plus de relief »	« Préfère le contact plus chaud de la matière »	« Plus grands »
compréhension	exact	exact	inexact	exact
QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8
lisibilité des éléments en relief	exact	exact	exact	exact
préférences à propos de la lisibilité (I3D ou usinage)	I3D	I3D	I3D	I3D
commentaires sur la lisibilité	« Plus gonflés »	« Plus en relief »	« Différences bien marquées, bien distinguées »	« Plus clairs, on ne peut pas confondre »
compréhension	exact	exact	exact	exact
QUESTIONS ABORDÉES	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Sujet 12
lisibilité des éléments en relief	exact	exact	exact	exact
compréhension sans explications	oui	oui	non	oui
préférences à propos de la lisibilité (I3D ou usinage)	I3D	I3D	I3D	I3D
commentaires sur la lisibilité	« Plus de différences dans les textures »	« Plus hauts »	« Plus de relief »	« On sent mieux sous les doigts »
compréhension	exact	exact	exact	inexact

Tableau 37. Synthèse des résultats des entretiens

75. I3D = impression 3D.

Le critère de compréhension consiste à mettre en adéquation les éléments identifiés formellement avec le texte énoncé. Parmi les onze sujets qui ont accès aux quatre éléments en relief qui constituent la représentation tactile, dix comprennent le contenu de la représentation dans la mesure où ils savent mettre en relation le texte lu à haute voix et les éléments en relief. Une personne ne comprend pas le contenu de la représentation, c'est-à-dire qu'elle ne détermine pas ce que représentent les surfaces plates, autrement dit les ombres portées des dromadaires (sujet 12).

4.2.3.4. Conclusions de cette expérimentation

Résultats liés aux contrastes tactiles évalués

Cette expérimentation montre que les éléments tactiles sont bien identifiés sur la représentation faite par impression 3D puisque 11 sujets sur 12 identifient verbalement et/ou tactilement les quatre éléments principaux et choisissent ensuite cette représentation pour poursuivre l'entretien. D'après leurs commentaires, on peut dire globalement qu'ils la jugent plus contrastée tactilement, or nous avons volontairement introduit des contrastes de formes et de textures pour que les éléments soient davantage perceptibles. Parmi ces onze sujets, dix ont accès au contenu de la représentation, c'est-à-dire qu'ils mettent en relation le texte énoncé avec les éléments préalablement identifiés (cf. tableau 38).

QUESTIONS POSÉES			
LISIBILITÉ ET UTILITÉ	Quels éléments identifiez-vous ?	correct	11/12
	Y a-t-il une représentation sur laquelle vous identifiez mieux les éléments en relief ?	I3D	11/12 « Plus en relief » « On sent mieux sous les doigts » « Plus grand » etc.
			01/12 préfèrent le contact de l'autre maquette
		usage	
COMPRÉHENSION	Que représente cette image ?	correct	10/11
		pas correct / incomplet	01/11

Tableau 38. Synthèse des résultats des entretiens

Les résultats selon nos trois critères sont globalement positifs et valident donc l'intérêt des contrastes tactiles (du moins les contrastes de formes et de textures matérialisés dans cette expérimentation).

Résultats liés à la méthodologie de conception

À propos des deux cycles itératifs, les résultats montrent une nouvelle fois qu'il s'agit d'une étape nécessaire, car les informations recueillies au cours du premier cycle sont utilisées au cours du deuxième cycle itératif. Cette expérimentation permet aussi de confirmer les critères repris de l'expérimentation 2, à savoir : lisibilité, compréhension et utilité. De plus, ces résultats montrent l'intérêt des représentations intermédiaires « bonne lisibilité et compréhension tactile » comme outil d'aide à la conception qui permet l'échange d'idées et donc l'apport de connaissances.

4.2.4. Deux cycles itératifs : synthèse des expérimentations 3 et 4

4.2.4.1. Conclusions liées à la méthodologie de conception

L'objectif de nos deux dernières expérimentations est de valider/d'invalider notre hypothèse à propos de la méthodologie de conception, voire d'affiner les étapes qui composent cette démarche, en fonction des résultats des deux évaluations (cf. tableau 39).

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES	EXPÉRIMENTATIONS	
HYPOTHÈSE 1 : LA MÉTHODOLOGIE	Étape 1 : transférer des connaissances	expé. 3	
	Étape 2 : concevoir des maquettes tactiles	expé. 3	expé. 4
	Étape 3 : deux cycles itératifs de conception nécessaires	expé. 3	expé.4

Tableau 39. Synthèse des étapes testées en lien avec la méthodologie

La nécessité de transférer des connaissances est testée dans l'expérimentation 3 où les réponses attendues portent sur la représentation mentale des participants au contact d'une représentation tactile et non sur des réponses hédoniques. Les

résultats de l'expérimentation 4 étant plutôt positifs quant à nos trois critères (lisibilité, compréhension et utilité), nous pouvons donc en conclure que le transfert de connaissances fonctionne puisque notre concept semble répondre aux besoins des personnes en situation de handicap visuel. Celui-ci est nécessaire, car peu de connaissances étaient encore disponibles à l'issue du premier cycle itératif.

La conception de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » est mise à l'épreuve au cours de l'expérimentation 3 et 4. Elle montre que ces représentations intermédiaires permettent de communiquer des propositions tactiles et sont des supports d'évaluation entre un concepteur voyant et des utilisateurs en situation de handicap visuel.

La mise en place des deux cycles itératifs de conception est organisée au cours des deux expérimentations successives : l'expérimentation 3 est le premier cycle itératif et l'expérimentation 4, le deuxième cycle. Les résultats de nos deux expérimentations sont complémentaires et soulignent donc leur nécessité. En effet, les résultats de l'évaluation 3 montrent que la représentation tactile peut être commune à plusieurs personnes en situation de handicap visuel alors que la deuxième évaluation montre que le diagramme d'Ishikawa, élaboré et partiellement matérialisé dans les représentations intermédiaires, fonctionne.

L'expérimentation 4 confirme les trois critères d'évaluation nécessaires au cours du deuxième cycle de conception qui permettent de tester la lisibilité tactile, la compréhension et de valider le besoin (critère d'utilité).

4.2.4.2. Conclusions liées au produit

Les deux évaluations sont nécessaires car elles permettent d'améliorer la représentation tactile. Les résultats de la quatrième évaluation soulignent le caractère lisible, compréhensible et utile de cette représentation sur le prototype de *La Terre vue du ciel*. Ces résultats positifs valident donc notre hypothèse de recherche 2.2 qui vise à introduire des contrastes tactiles au sein de la représentation tactile (cf. tableau 40).

HYPOTHÈSES	SOUS-HYPOTHÈSES OU ÉTAPES	EXPÉRIMENTATIONS	
HYPOTHÈSE 2 : LE PRODUIT	Sous-hypothèse 2.2 : contrastes tactiles	expé. 3	expé.4

Tableau 40. Synthèse de la sous-hypothèse testée en lien avec le produit conçu

La validation de cette hypothèse avec la population-cible permet d'aboutir à notre deuxième concept : pour concevoir une représentation tactile d'œuvre d'art, il semblerait nécessaire d'introduire des contrastes tactiles, en analogie avec les contrastes visuels colorés, afin que les visiteurs en situation de handicap visuel puissent identifier mentalement les éléments de l'œuvre.

4.3. Discussion autour des apports expérimentaux

4.3.1. Objectifs et apports des quatre expérimentations

L'expérimentation 1 permet d'identifier deux étapes qui composent la démarche expérimentale dans le cadre de la conception de la version initiale de la représentation tactile du format réel de l'œuvre, un schéma tactile qui explique par un rapport d'échelle la taille de l'œuvre en fonction de la taille d'un homme adulte.

L'expérimentation 2 permet d'identifier une troisième étape qui compose notre démarche (le transfert de connaissances). Cette étape est validée, car son rôle est démontré à travers la deuxième version du schéma tactile que les sujets jugent lisible, compréhensible et utile (trois critères qui caractérisent le second cycle itératif de conception d'après nos expérimentations). La représentation égocentrée, qui est une sous-hypothèse, est devenue un concept après validation du principe avec les utilisateurs aveugles et amblyopes.

L'expérimentation 3 permet de valider le pré-modèle de la démarche élaborée dans les expérimentations 1 et 2 notamment par rapport au transfert de connaissances, car une deuxième sous-hypothèse relative à la représentation tactile est formulée : il s'agit de l'introduction de contrastes tactiles illustrés sous la forme d'un diagramme d'Ishikawa. Les connaissances n'étant pas suffisantes à ce stade de nos travaux, nous organisons un deuxième cycle itératif.

Ainsi, l'expérimentation 4 constitue ce deuxième cycle itératif qui vise à matérialiser le transfert de connaissances par une représentation tactile précise (un niveau de relief associé à un état de surface). Cette sous-hypothèse ayant été validée avec des

usagers, nous formulons un second concept dont le résultat concluant valide la démarche que nous définissons aux termes de ces quatre expérimentations.

4.3.2. La validation des hypothèses au terme des expérimentations

Les quatre expérimentations présentées dans ce document ont pour objectif de valider les deux hypothèses ainsi que leurs sous-hypothèses et étapes réciproques autour de deux études de cas. Les critères de lisibilité et de compréhension sont liés à l'état de l'art concernant l'accès à une représentation en relief. Les sous-hypothèses 2.1. et 2.2. qui proposent deux concepts, l'un pour faire comprendre par le toucher le format réel de l'œuvre et l'autre pour augmenter la lisibilité et la compréhension, sont toutes les deux le fruit d'un transfert de connaissances, donc rattachées, dans une certaine mesure à notre état de l'art relatif à l'étude de la perception tactile. Cela démontre ainsi l'intérêt de prendre en compte la perception des personnes en situation de handicap visuel au cours du processus de conception de représentations tactiles. D'ailleurs, notre projet de recherche concerne l'accès aux œuvres d'art, mais nos apports pourraient être mis en application dans d'autres domaines, pour d'autres supports (supports pédagogiques et/ou livres par exemple) comme la démarche de conception qu'il est possible de lui associer.

Les deux premières expérimentations permettent de pré-modéliser la démarche de conception et les expérimentations 3 et 4 de la modéliser. La construction de cette démarche se fait en parallèle de la conception de deux représentations tactiles. Démarche et représentations tactiles (autrement dit notre produit) sont donc étroitement liées, car nous avons défini la démarche grâce au produit conçu et, inversement, les représentations tactiles validées avec les usagers démontrent la validité de la démarche proposée.

4.3.3. Propositions d'évolution de notre approche expérimentale

Les apports expérimentaux s'inscrivent dans une démarche de recherche-action où le contexte socio-économique, avec les livrables préalablement définis, constitue notre terrain expérimental et permet de construire notre problématique de recherche en vue des expérimentations. Inversement, les apports expérimentaux « nourrissent » notre demande industrielle tout au long de notre projet de recherche. Ainsi, les apports expérimentaux sont, de la même manière que notre livrable industriel, mis en place au sein d'un projet de conception de parcours audio-tactile décrit plus précisément en partie 5 de ce document.

Le prolongement de ce travail exploratoire pourrait être une collaboration envisagée avec des chercheurs en psychologie, ce qui apporterait un point de vue complémentaire au travail de recherche entrepris et permettrait la mise en place de protocoles spécifiques.

Par rapport aux protocoles, nous pourrions aussi envisager la mise en place de groupes témoins avec des participants voyants. Dans un contexte où nous disposerions de plus de temps, il serait intéressant d'étendre les expérimentations à plus de participants afin que les résultats soient davantage représentatifs.

Synthèse / conclusions sur les expérimentations

Les hypothèses, sous-hypothèses et étapes définies sont validées au cours de nos quatre expérimentations.

Nous proposons de répondre à notre problématique de recherche au travers de deux apports. À la question « Comment concevoir une représentation tactile d'œuvre d'art pour les personnes en situation de handicap visuel ? », nous proposons deux réponses : l'une en termes d'outil méthodologique de conception, car il s'agit d'une démarche expérimentale en trois étapes. L'autre réponse concerne l'énoncé de deux concepts destinés aux concepteurs qui pourront les mettre en application pour élaborer des représentations tactiles d'œuvres d'art ou bien d'autres types de supports.

Ces apports sont d'ailleurs mis en application à la fin de la thèse de doctorat dans un projet de conception de parcours sensoriel que nous décrivons en partie 5 de ce document.

5. APPORTS DE THÈSE

Introduction

Les constats mis en évidence dans l'état de l'art ainsi que les résultats expérimentaux permettent de constituer deux apports de thèse complémentaires :

- un premier apport de thèse méthodologique, par la modélisation d'une démarche de conception (> cf. partie 5.1) complémentaire aux démarches de conception universelle existantes qui peuvent être mises en place après la démarche que nous proposons ;
- un second apport en lien avec le produit à concevoir par la validation de deux concepts (> cf. partie 5.2) comme résultat de l'application de cette démarche.

Ces trois années de thèse en convention CIFRE permettent aussi d'atteindre un objectif industriel : effectuer un transfert de technologie dans la conception de représentations tactiles d'œuvres d'art conçues par le groupe Alain Mikli International (> cf. partie 5.3).

5.1. Vers une formalisation du processus de conception : proposition d'une démarche pour les concepteurs

5.1.1. Présentation de la démarche

L'objectif de notre recherche est de répondre à la problématique énoncée en partie 3 de ce document, à savoir :

*Comment concevoir la représentation tactile d'œuvres d'art
pour les personnes en situation de handicap visuel ?*

L'un des deux aspects de notre problématique est en lien avec l'aspect méthodologique, car nous nous questionnons sur le processus de conception qui permet d'aboutir à un produit, c'est-à-dire à une représentation tactile dans le cadre de notre étude (> cf. [partie 3.1](#)). Nous nous interrogeons sur les étapes de conception, car notre état de l'art bibliographique montre que les démarches de conception universelle existantes proposent de répondre aux besoins de la population globale en prenant en compte toute sa diversité. Cependant, du point de vue méthodologique, **[Plos et al. 2007]** affirment que « *peu de démarches ont été formalisées précisément dans la littérature en dehors de la reconception ou l'amélioration de produits existants* ». En effet, l'Universal Design énonce des objectifs précis à atteindre, mais aucune étape de conception n'est définie pour y aboutir. De plus, atteindre chacun des sept principes nécessite des connaissances suffisantes concernant les utilisateurs, ce que nous n'avons pas à ce stade de nos travaux de recherche. L'Inclusive Design propose des objectifs ainsi qu'une démarche de conception relativement précis, mais nécessite aussi une connaissance suffisante des utilisateurs potentiels, en vue de concevoir un produit utile à un maximum de personnes comme les auteurs le décrivent dans l'Inclusive Design Cube. L'analyse du courant de conception universelle montre que nous devons, au préalable, définir les besoins des utilisateurs aveugles et amblyopes pour les satisfaire et inclure leurs attentes parmi ceux de la population globale. Ainsi, nous positionnons nos travaux de recherche en amont de ces démarches existantes.

La démarche que nous proposons est le résultat de ce constat relatif à l'état de l'art théorique sur ces deux approches de conception universelle et de nos quatre expérimentations au cours desquelles nous testons les trois étapes qui constituent

cette démarche de conception expérimentale (cf. figure 50) :

- étape 1 : transférer des connaissances théoriques des sciences cognitives vers la conception de produits ;
- étape 2 : concevoir des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » ;
- étape 3 : planifier deux cycles itératifs de conception/d'évaluation.

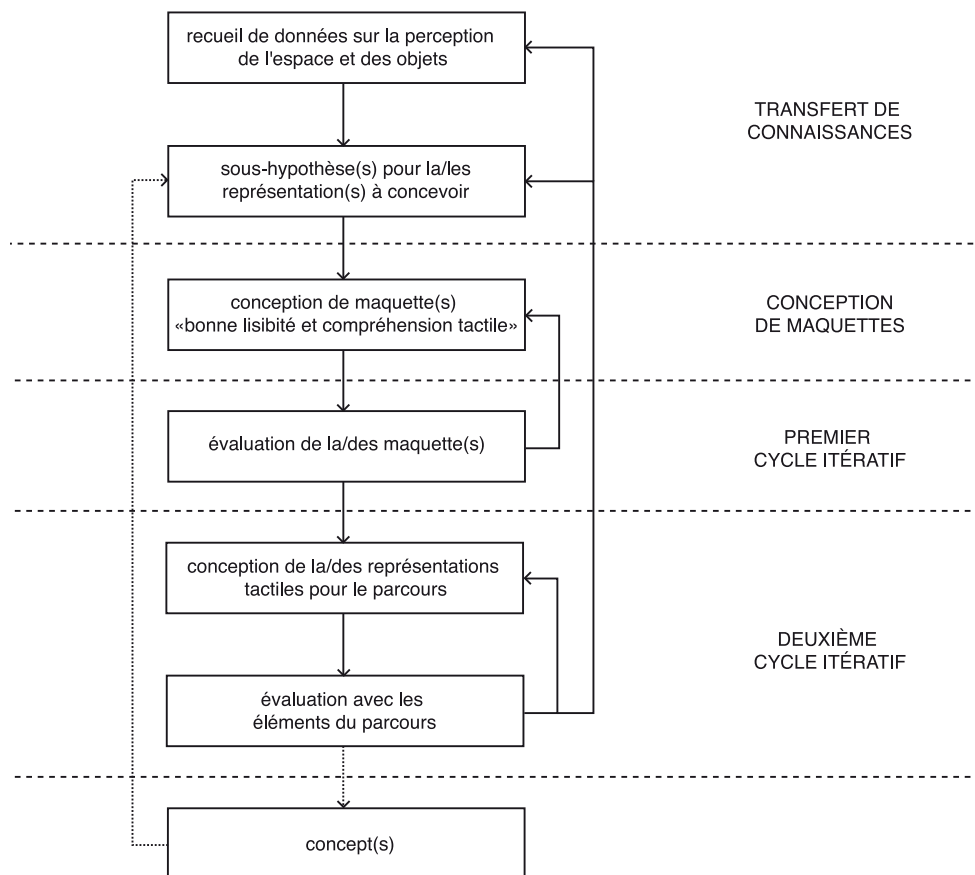


Figure 50. Étapes de la démarche

Les quatre expérimentations permettent de préciser les critères d'évaluation des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile », à savoir : la lisibilité et la compréhension de celles-ci au cours du premier cycle itératif de conception. L'évaluation de la représentation tactile finale serait basée sur trois critères : la lisibilité et la compréhension comme pour l'évaluation, lors du premier cycle itératif, ainsi que l'utilité de cette représentation tactile qui permettrait ainsi de valider le transfert de connaissances effectué en étape 1 du processus de conception et plus globalement de valider le besoin de cette représentation avec des utilisateurs en situation de handicap visuel.

Cette démarche modélisée, au cours de quatre expérimentations, elles-mêmes organisées au sein de deux projets d'exposition (au Centre Georges-Pompidou et d'après les photographies de *La Terre vue du ciel*), est mise en place dans un projet de conception de parcours audio-tactile au musée du quai Branly.

5.1.2. Mise en œuvre de la démarche au musée du quai Branly

Le groupe Alain Mikli International est mécène d'un parcours audio-tactile mis en place en décembre 2010 au musée du quai Branly. Ce parcours est installé sur les parois de « la Rivière ⁷⁶ », par la fixation de cinq pupitres sur cette structure en cuir (cf. figure 51).



Figure 51. Emplacement du parcours audio-tactile au sein de « la Rivière » au musée du quai Branly

Sur chaque meuble est disposé un panneau explicatif en braille et gros caractères, accompagné d'une représentation tactile de l'objet issu de la collection permanente du musée ⁷⁷. Il s'agit d'une exposition audio-tactile puisque les informations disponibles sont accessibles par la modalité sensorielle tactile mais aussi par la modalité sensorielle sonore, car chaque pupitre est équipé de deux casques qui contiennent des informations audio à propos de l'œuvre présentée.

76. « Au cœur du plateau des collections, « la Rivière » est un parcours original de 107 mètres de long conçu pour tous les publics et spécifiquement adapté aux visiteurs handicapés. [...] Ce long mur de cuir de forme fluide est le support à la fois d'une exposition plurisensorielle et d'espaces prévus pour le repos. Des textes présentés en braille, des bas-reliefs tactiles et des écrans adaptés à différents handicaps (auditif ou visuel, mobilité réduite) donnent, en une vingtaine de séquences, un aperçu de la relation de l'homme à l'espace qui l'entoure et au lieu où il s'ancre, dans différentes cultures » [musée du quai Branly 2010]. « La Rivière » a été réalisée grâce au mécénat de Schneider Electric.

77. Parmi 3 500 œuvres exposées sur le plateau des collections [musée du quai Branly 2010].

Pour cette installation, les équipes du musée et du groupe Alain Mikli International travaillent conjointement afin de concevoir les différents éléments qui composent le parcours : le mobilier ⁷⁸, l'intégration du dispositif technique permettant de disposer des informations sonores, les descriptions audio enregistrées en français et en anglais restituées grâce aux casques, les panneaux explicatifs visuels et tactiles, et, enfin, les objets accessibles au toucher, sous la forme de bas-reliefs ⁷⁹ ou bien en volume. Au moment où nous rédigeons ce document, nous travaillons à la transposition tactile de quatre objets pour cette installation, suivis de cinq objets qui viendront compléter ceux précédemment conçus. Soit, au total, quatorze objets présentés au public par roulement sur les cinq meubles mis en place.

Nous définissons avec l'équipe du musée du quai Branly plusieurs étapes de conception pour élaborer ce parcours (cf. figure 52). Pour les représentations tactiles d'objets, nous proposons de travailler de manière itérative en mettant en place la conception d'une représentation intermédiaire sous la forme d'une maquette qui matérialise partiellement l'objet. Cette étape est consécutive au travail réalisé avec le/les conservateur(s) devant l'œuvre originale qui permet de définir les éléments importants de l'objet à mettre en évidence par les niveaux de relief, les formes et les textures. Cette étape précède la mise en place définitive de l'objet en relief au sein du musée. Ces maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » permettent donc d'évaluer :

- la lisibilité tactile des éléments en relief testée par deux personnes aveugles qui participent à la conception du parcours ;
- la mise en évidence des éléments par rapport à l'usage des objets, leur symbolique, etc.

En fonction des remarques synthétisées lors de notre séance de travail commune, des modifications sont apportées à la représentation tactile finale. Ces modifications sont apportées dans la version 2 mise en place au sein du parcours.

78. La volonté était aussi de rendre accessible l'installation aux personnes en situation de handicap moteur et auditif.

79. Une face de chaque objet est représentée en relief dans ce cas.

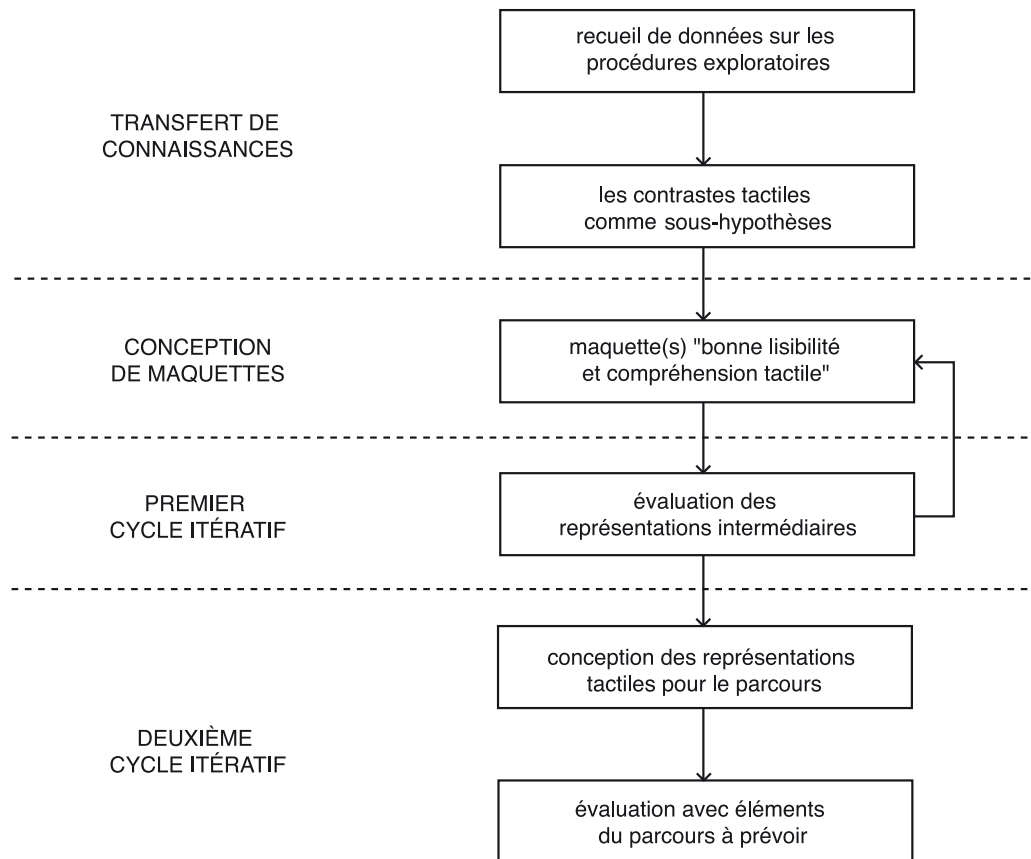


Figure 52. Étapes de la démarche-modèle appliquée au projet de parcours au musée du quai Branly

5.2. Proposition de concepts issus de l'application de cette démarche

5.2.1. Représenter de manière égocentrée le format réel de l'œuvre

[Hatwell 2003] évoque la représentation mentale égocentrée de l'espace pour les personnes aveugles. Bien que cette donnée concerne la perception de l'espace, nous transférons cette information qui nous guide vers notre première sous-hypothèse de représentation. Elle consiste à représenter tactilement, de manière égocentrée (c'est-à-dire en utilisant le corps comme une référence), la taille réelle de l'œuvre en complément des données chiffrées.

Cette donnée théorique issue d'études en psychologie et relative à la perception de la personne aveugle, en lien avec son comportement, a été traduite en sous-hypothèse pour concevoir notre représentation tactile du format réel de l'œuvre **[Costes et al. 2009]**. Nous transférons ces connaissances ([hypothèse 1](#), > cf. [partie 3.2.1](#)) en une sous-hypothèse qui vise à utiliser le corps comme étalon pour connaître les proportions réelles de l'œuvre présentée. Les deux premières expérimentations

permettent ensuite, sur la base de notre transfert de connaissances, de concevoir par itération (suite aux retours de la part des participants aveugles et amblyopes) une version 1 pas suffisamment finalisée puis une version 2 satisfaisante en termes de lisibilité, de compréhension et d'utilité.

Les deux cycles itératifs sont donc nécessaires et suffisants pour proposer une représentation tactile réunissant trois critères : utilité, lisibilité et compréhension. Ces itérations sont rendues possibles grâce à la conception de maquettes tactiles « bonne lisibilité et compréhension tactile » qui nous sont utiles pour proposer et évaluer des représentations tactiles avec notre population-cible lors du premier cycle itératif. Les résultats de nos entretiens semi-dirigés étant satisfaisants, nous formulons un concept à partir de cette sous-hypothèse testée au cours de nos deux expérimentations :

« Pour expliquer les dimensions réelles d'une œuvre d'art, la représentation égocentrée du format original de l'œuvre apporte une information complémentaire aux données chiffrées. »

5.2.2. Introduire des contrastes tactiles dans la représentation tactile

[Lederman, Klatzky 1987 ; 1993] définissent huit procédures exploratoires dans l'identification tactile d'objets dont six désignées par :

- « le contact statique » ;
- « le frottement latéral » ;
- « le soulèvement » ;
- « la pression » ;
- « l'enveloppement » ;
- « le suivi des contours ».

Ces procédures, mises en forme à l'aide du diagramme d'Ishikawa (> cf. [partie 3.2.2.2](#)) et associées à des grandeurs tactiles (et donc associables à des matériaux), permettent de définir des contrastes tactiles qui résultent de ce transfert de connaissances (cf. tableau 41).

PROCÉDURES EXPLORATOIRES	TYPES DE CONTRASTE	GRANDEURS TACTILES / MATÉRIAUX
« Le soulèvement »	Contraste de poids	Lourd / léger
« La pression »	Contraste de dureté	Dur / souple
« Le frottement latéral »	Contraste de textures	Lisse / rugueux
« Le frottement latéral »	Contraste de formes / de volumes	Arrondi / géométrique
« Le contact statique »	Contraste de température	Froid / chaud

Tableau 41. Récapitulatif des contrastes tactiles définis en partie 3

Les contrastes tactiles tels que définis en partie 3 de notre document constituent une sous-hypothèse qui oriente la conception des reliefs de nos représentations intermédiaires de *La Terre vue du ciel*. Nos expérimentations 3 et 4 permettent de valider partiellement cette sous-hypothèse (contrastés de textures et de formes testés) et d'aboutir à notre deuxième concept :

« L'introduction de contrastes tactiles dans la représentation d'éléments en relief améliore la lisibilité et favorise la compréhension. »

5.2.3. Mise en œuvre des concepts au musée du quai Branly

Le groupe Alain Mikli International met en place pour la première fois un parcours audio-tactile au sein de ce musée. Il s'agit, pour l'entreprise, de la seconde exposition au sein d'un musée. Le premier parcours a été mis en place au Centre Georges-Pompidou en 2009.

Parmi les livrables demandés par le musée du quai Branly, il s'agit de concevoir des panneaux explicatifs visuels et tactiles contenant une brève description en braille et en gros caractères de l'œuvre présentée (informations complétées par les commentaires audio), une représentation tactile de l'œuvre et enfin une représentation du format réel de l'objet de manière égocentrée (cf. figure 53). Il s'agit d'une seconde application du travail de recherche initialement réalisé pour le Centre Georges-Pompidou. Cette représentation reçoit un accueil positif, lors de l'inauguration du parcours au musée du quai Branly, par deux personnes aveugles et une personne amblyope. Cependant, aucune évaluation du parcours n'est entreprise à ce jour. Celle-ci sera organisée au cours des deux années de mise en place du parcours.

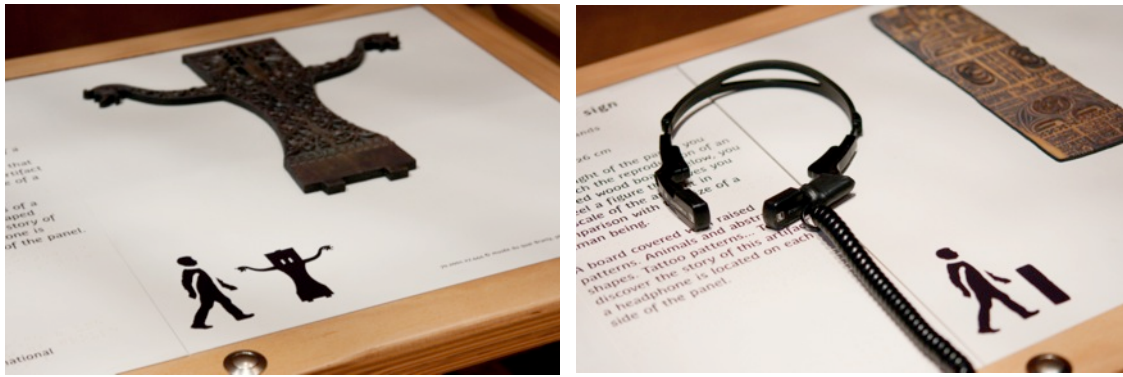


Figure 53. Panneaux explicatifs mis en place au musée du quai Branly contenant la représentation égocentrée du format réel de l'œuvre

Les contrastes tactiles définis grâce à notre état de l'art théorique et en partie testés dans l'expérimentation 4, à partir des prototypes de *La Terre vue du ciel*, sont transférés dans les interprétations d'objets où nous introduisons des contrastes de textures et de formes (cf. figure 54).



Figure 54. Détails de deux bas-reliefs mis en place au sein du parcours au musée du quai Branly

5.3. Transfert de technologie : de l'usinage à l'impression 3D de représentations tactiles

Les photographies de *La Terre vue du ciel* présentées dans les expositions itinérantes sont fabriquées par usinage à commande numérique (> [cf. explications de leur fabrication, partie 1.1.3](#), cf. détail figure 55). L'objectif de nos travaux de recherche est d'utiliser la technologie d'impression 3D, un procédé de prototypage rapide, dans la fabrication des photographies de Yann Arthus-Bertrand (cf. détail, figure 56).



Figure 55. Détail d'une photographie de *La Terre vue du ciel* usinée

Notre état de l'art sur les procédés de mise en relief existants (> cf. [partie 2.3.3](#)) montre que les possibilités graphiques et, par conséquent, les limites de représentations tactiles sont étroitement liées au procédé de fabrication utilisé. Parmi les procédés couramment utilisés, l'usinage est un procédé qui va au-delà des quatre à cinq niveaux de relief possibles par thermoformage, car il permet d'obtenir jusqu'à huit niveaux de relief dans une plaque d'acétate de cellulose de quatre millimètres d'épaisseur qui varient visuellement du blanc au noir en fonction de la profondeur d'usinage.

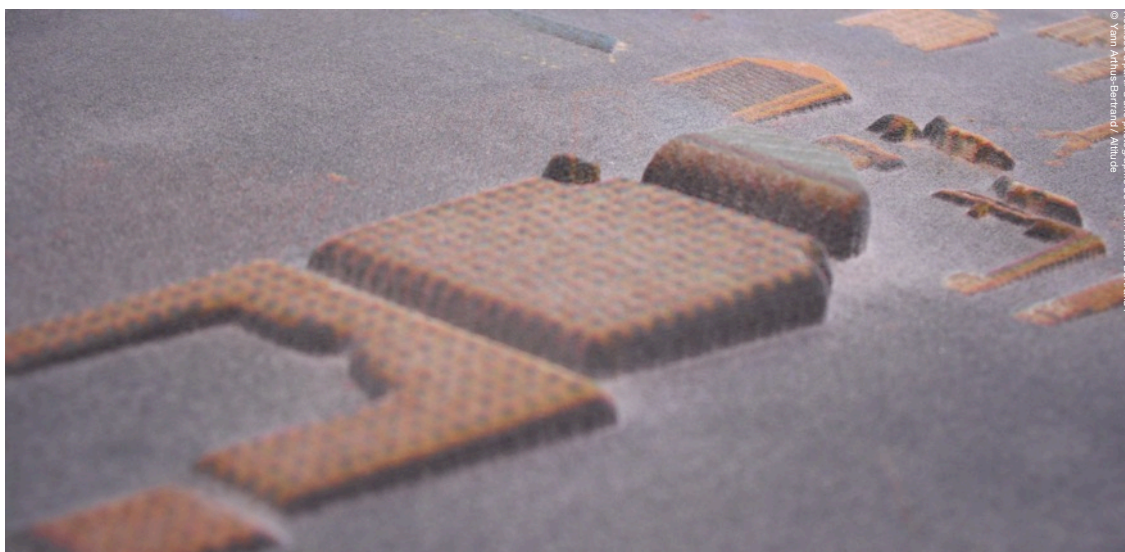


Figure 56. Détail d'une photographie de *La Terre vue du ciel* imprimée (avant dépoudrage de la pièce)

Les recherches menées entre 2001 et 2003 pour mettre au point la fabrication des représentations tactiles par usinage permettent de mettre en place un savoir-faire propre au groupe Alain Mikli International. Au début des recherches menées sur l'impression 3D, nous nous interrogeons sur la manière d'utiliser ce procédé avec le savoir-faire existant (cf. figure 57).

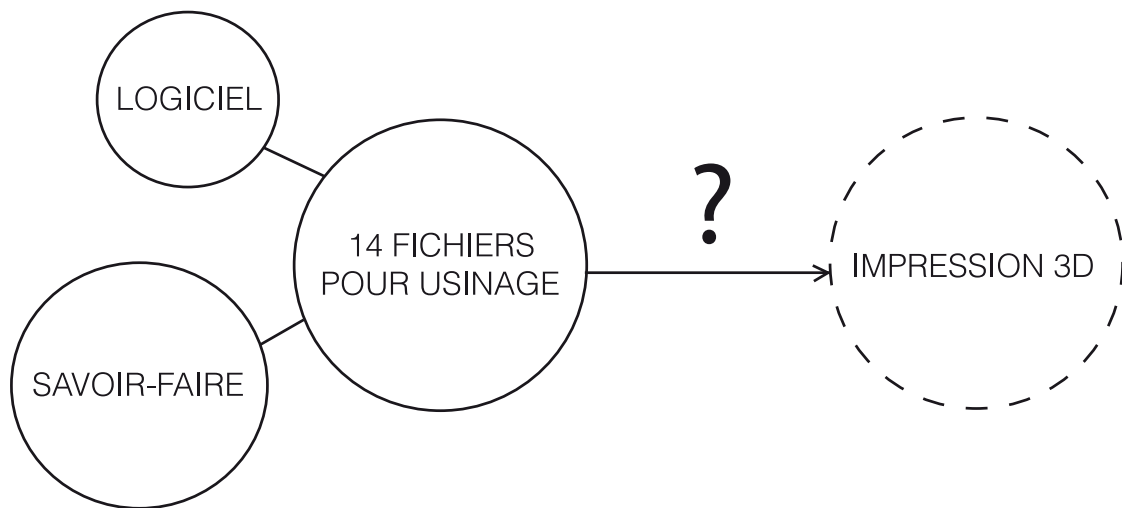


Figure 57. Schéma montrant les travaux de R&D à réaliser

Concevoir des images tactiles à l'aide de ce procédé de prototypage rapide est innovant. Pour cette raison, nous effectuons des travaux de recherche et de développement afin de mettre en place un process de conception et de fabrication en plusieurs étapes : de la mise en place de procédures de travail pour traduire chaque photographie en relief basées sur le savoir-faire existant jusqu'au post-traitement des prototypes à l'aide de résines.

Nos recherches se sont orientées vers ce procédé, car il présente plusieurs avantages : du point de vue tactile, le relief peut atteindre jusqu'à 20 centimètres d'amplitude (au-delà si assemblage de deux pièces), le nombre de niveaux de relief est illimité jusqu'à vingt centimètres et l'épaisseur de chaque niveau peut varier. En plus des strates, la représentation tactile est enrichie de formes arrondies, de dessins de détails. Visuellement, l'image en couleurs peut être superposée au relief.

Ces travaux de recherche aboutissent à des prototypes de *La Terre vue du ciel*, utilisés comme des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » dans notre expérimentation 4. Ces représentations intermédiaires montrent par leur conception et leur fabrication que les étapes du process mises en place fonctionnent. Cette technologie est ensuite utilisée pour le projet d'exposition au musée du quai Branly en décembre 2010 en permettant l'élaboration de bas-reliefs et d'objets en volume (cf. figure 58).

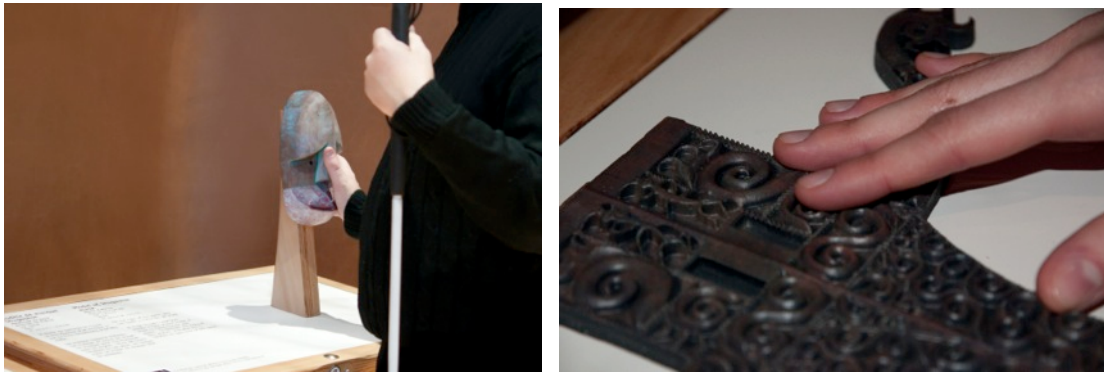


Figure 58. Masque en volume (à gauche) et détail d'un bas-relief (à droite)
mis en place au sein du parcours au musée du quai Branly

Grâce à ces recherches, le groupe Alain Mikli International dispose d'un procédé complémentaire à l'usinage à commande numérique, car l'un ou l'autre sera utilisé en fonction des œuvres à transposer : ce travail constitue notre apport industriel. Ce livrable défini, préalablement, au début de la thèse de doctorat constitue aussi de l'expérience utile à la réalisation des expérimentations. En effet, la mise au point de ce process permet de concevoir nos représentations intermédiaires c'est-à-dire les maquettes tactiles « bonne lisibilité et compréhension tactile ».

Synthèse / conclusions sur les apports de thèse

Le résultat industriel consiste à mettre au point un procédé de conception et de fabrication de représentations tactiles par impression 3D qui est utilisé, pour la première fois, au sein de l'exposition audio-tactile mise en place au musée du quai Branly.

Les résultats expérimentaux de recherche et donc nos apports de thèse sont aussi mis en application au musée du quai Branly :

- la démarche expérimentale pour la planification du projet (afin de concevoir les représentations tactiles) ;
- les maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » comme outil d'aide à la conception des représentations tactiles ;
- les concepts (échelle et contrastes tactiles) au cours du développement du dispositif tactile.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Cette thèse est réalisée dans le cadre d'une convention CIFRE avec le groupe Alain Mikli International dont les actions de mécénat orientent notre recherche qui porte sur la conception de représentations tactiles d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel.

Dans ce paragraphe, nous synthétisons les apports (positionnement par rapport à l'état de l'art théorique et résumé de la construction de la thèse) puis nous énonçons les perspectives possibles à ce travail de recherche.

Les apports

Par rapport à notre état de l'art théorique qui porte sur la conception universelle, les représentations intermédiaires et la perception tactile, nos apports de thèse consistent à inclure la perception tactile par la conception de représentations intermédiaires que nous désignons comme étant des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » au sein du processus de conception de nos représentations tactiles d'œuvres d'art. Par rapport à la conception universelle, nos premiers apports de connaissances intervenant en amont de ces approches, ces apports pourraient être utilisés parmi les approches d'Universal Design et d'Inclusive Design déjà modélisées.

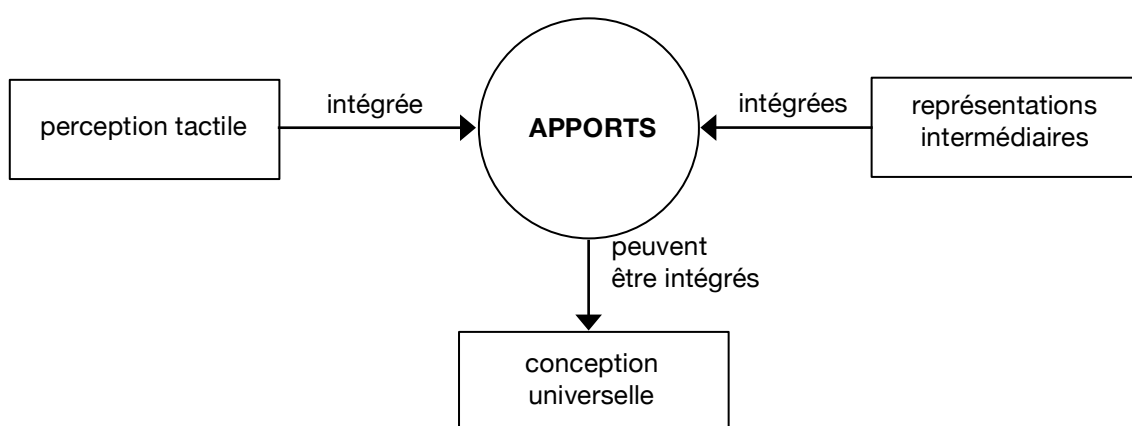


Figure 59. Schéma du positionnement de notre apport par rapport à l'état de l'art théorique

Globalement, cette recherche met en évidence l'intérêt d'intégrer l'utilisateur dans la conception de produits notamment par rapport à la prise en compte des aspects sensoriels perçus. Ce travail met aussi en évidence le fait que la formalisation de ce champ de recherche permet d'apporter des connaissances.

En effet, notre objectif est de formaliser ce champ de recherche car il ne l'est pas

aujourd'hui. Même si l'accès des musées aux personnes en situation de handicap constitue une problématique actuelle si l'on considère le contexte législatif français (loi du 11 février 2005, label « Tourisme et Handicap » et prévisions démographiques de l'OMS), l'état de l'art sur le terrain révèle l'absence de norme de représentation dans les musées. Ce constat global nous permet de mettre en évidence notre problématique de recherche et les hypothèses associées que nous testons ensuite dans le cadre d'entretiens. Notre approche est expérimentale car elle consiste à faire participer des utilisateurs au travers de quatre expérimentations que nous organisons. Elles nous permettent de constituer deux apports de recherche : deux concepts à mettre en application par les concepteurs, issus d'une démarche de conception expérimentale qui s'articule en trois phases : un transfert de connaissances de la psychologie vers la conception de produits (phase 1) ; la conception de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » (phase 2) ; des représentations intermédiaires à valider selon ces deux critères au cours d'un premier cycle itératif de conception (phase 3). Les retours recueillis permettent de concevoir les représentations mises en place au sein du parcours et sont évaluées une seconde fois (2^e cycle itératif - phase 3).

Cette démarche est pré-modélisée puis modélisée au cours de nos quatre expérimentations (soit deux fois deux cycles itératifs) et mise en œuvre pour la conception d'un parcours audio-tactile au musée du quai Branly. De la modélisation de cette démarche en résulte l'élaboration de deux concepts. L'un porte sur l'explication du format réel de l'œuvre et l'autre sur la conception de contrastes tactiles dans les représentations. Ils sont mis en application tous les deux au musée du quai Branly dans le cadre de la conception du parcours audio-tactile.

La mise en application de cette démarche est utile à l'ensemble de l'équipe-projet multidisciplinaire constituée de collaborateurs du groupe Alain Mikli international et du musée du quai Branly. D'une part, du point de vue organisationnel, elle permet de définir les étapes de conception, les jalons et les livrables intermédiaires. D'autre part, du point de vue des livrables, cette démarche est utile pour la conception des représentations tactiles qui favorisent l'échange d'idées sachant que l'itération, grâce à la fabrication d'échantillons tactiles en 10 x 15 centimètres, permet l'amélioration des propositions tactiles. La technique de mise en œuvre étant l'impression 3D qui constitue l'apport industriel de notre recherche, car nous développons un process de conception et de fabrication issu d'un transfert de technologie dans le cadre de la thèse de doctorat.

Les perspectives de recherche

Le travail de recherche présenté dans ce document pourrait être poursuivi au-delà de cette thèse de doctorat. Nous proposons en effet plusieurs perspectives, à savoir :

- développement de la version 1 de la démarche proposée ;
- représentation tactile de la couleur ;
- représentation audio-tactile d'œuvres d'art ;
- recherche en sciences cognitives ;
- typologies de représentations intermédiaires sensorielles.

Perspective 1 : développement de la version 1 de la démarche proposée

L'un de nos deux apports de thèse propose une démarche de conception expérimentale modélisée (il s'agit d'une version 1). Nous montrons qu'elle est mise en application et utile en l'état au musée du quai Branly pour un projet de conception au sein de ce musée. Cela montre aussi qu'un travail avec les conservateurs en amont du processus de conception est réalisé ([> cf. partie 5](#)). Ce travail préalable avec les conservateurs est observé, car nous mettons en application le processus de conception et de fabrication des représentations tactiles qui constitue notre livrable industriel. Il ne s'agit pas, en effet, d'une donnée dont nous disposons au début de notre étude. Pour cette raison, cette étape de conception pourrait être intégrée à notre démarche mais nécessiterait d'être explicitée au cours d'une expérimentation, car nous ne formalisons pas cette intervention au cours de nos quatre expérimentations.

Perspective 2 : représentation tactile de la couleur

Nous précisons en partie 3 du document que notre recherche n'inclut pas la représentation des aspects colorés de l'œuvre originale par la modalité sensorielle tactile. Ces aspects colorés sont uniquement rendus visuellement, car la couleur ne revêt pas de caractère symbolique dans les œuvres d'art sur lesquelles nous travaillons. La question de la représentation des couleurs par d'autres modalités sensorielles que la modalité sensorielle visuelle est une problématique en soi qui nécessiterait un travail de recherche spécifique et qu'il serait intéressant de conduire par rapport à la représentation tactile d'œuvres d'art en particulier.

Perspective 3 : représentation audio-tactile d'œuvres d'art

Sur la base des entretiens que nous réalisons et dont nous présentons uniquement les résultats sur les aspects tactiles (> cf. partie 4), nous nous apercevons que la modalité sensorielle sonore suscite l'intérêt des utilisateurs dans la mesure où ils la jugent complémentaire aux informations tactiles dont ils peuvent disposer, d'autant plus que notre état de l'art montre que les parcours mis en place dans les musées fonctionnent à partir de cette modalité sensorielle combinée ou pas aux informations tactiles.

Du point de vue industriel aussi, notre expérience au musée du quai Branly montre que les informations audio sont intéressantes à plusieurs titres :

- toutes les personnes aveugles ne lisent pas les caractères en braille ;
- étant normalisés, les caractères en braille nécessitent de concevoir des dispositifs de grande taille pour permettre de contenir suffisamment d'explications écrites ;
- les informations audio permettent l'accès aux enfants qui n'ont pas encore fait l'apprentissage de la lecture.

Toutefois, du point de vue recherche, nous ne démontrons pas l'intérêt des informations audio et leurs complémentarités possibles avec les informations tactiles.

[Espinosa et al. 1998] comparent différentes méthodes d'apprentissage basées sur l'exploration in situ, les représentations tactiles (plans en relief) et les informations verbales dans le but d'orienter dans l'espace un groupe de personnes aveugles dans deux villes européennes. Il serait intéressant de savoir si ces résultats sont valables dans notre périmètre de recherche et de démontrer, de manière expérimentale, l'intérêt des représentations d'œuvres d'art multimodales.

Perspective 4 : recherche en sciences cognitives

Notre recherche multidisciplinaire, entreprise en génie industriel pourrait être poursuivie avec des chercheurs en sciences cognitives. Les représentations intermédiaires conçues que nous avons utilisées pour nos expérimentations pourraient être évaluées dans le cadre de protocoles spécifiques.

Perspective 5 : typologies de représentations intermédiaires sensorielles

D'autres typologies de représentations intermédiaires pourraient être envisagées dans le but de transmettre une intention à des utilisateurs en situation de handicap visuel. Elles pourraient être basées sur d'autres critères ou bien encore reposées sur d'autres modalités sensorielles que tactiles. Par exemple, la perspective 2 pourrait permettre la conception de représentations intermédiaires basées sur la modalité sensorielle

tactile, cela afin de valider la représentation des couleurs par des niveaux de relief ou d'autres effets tactiles. Quant à la perspective 3, elle nécessiterait de concevoir des représentations intermédiaires multisensorielles pour tester les interactions entre les informations tactiles et audio, par exemple.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

AERES, « Rapport d'évaluation de l'unité de recherche : laboratoire Conception de produits et innovation de Arts et Métiers ParisTech ». Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement du supérieur, 2009.

ALI AMMAR (A.), « Analyse des explorations haptiques de formes pour la conception d'un dispositif de suppléance perceptive dédié aux personnes aveugles ». Laboratoire Costech, Compiègne, UTC, 2006.

ANDREOU (Y.) et KOTSIS (K. T.), "The Estimation of Length, Surface Area, and Volume by Blind and Sighted Children". *International Congress Series* 1282, 2005, p. 780-784.

AOUSSAT (A.) et LE COQ (M.), « Méthodes globales de conception de produits ». In Tollenaere M. *Conception de produits mécaniques*. Éditions Hermès, 1998, p. 53-75.

AOUSSAT (A.), « La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle ». Laboratoire de conception de produits et innovation, Paris, ENSAM, 1990.

ARNHEIM (R.), "Perceptual Aspects of Art for the Blind". *The Journal of Aesthetic Education* 24 (3), 1990, p. 57-65.

B

BAGOT (J.-D.), « Information, sensation et perception ». Éditions Armand Collin, 1999, 1^{re} édition 1996, 192 p.

BASSEREAU (J.-F.), LATTUF (J.A.), DUBOIS (P.) et DUCHAMP (R.), « Maquette "Bonne Sensation" » (M.B.S.). 3rd International Conference Integrated Design and Production, 2003, 10 p.

BASSEREAU (J.-F.) et AOUSSAT (A.), « Concevoir et réaliser un produit du "design universel", enfin ? ou comment doucement orienter le processus naturel de conception de produits pour tous ». CPI'05, 2005, 17 p.

BASSEREAU (J.-F.), « Évaluation sensorielle d'objets autres qu'alimentaires et cosmétiques sur des modalités sensorielles autres qu'olfactives et gustatives ». In Deplédt F. *Évaluation sensorielle : manuel méthodologique*. Éditions Tec et Doc, 2009, 524 p.

BASSEREAU (J.-F.) et CHARVET-PELLO (R.), « Dictionnaire des mots du sensoriel ». Éditions Lavoisier, 2011, 554 p.

BAVČAR (E.), « Le Voyeur absolu ». Éditions du Seuil, 1992, 122 p.

BERNARD (A.) et TAILLANDIER (G.), « Le Prototypage rapide ». Éditions Hermès, 1998, 256 p.

BONNET (C.), « Manuel pratique de la psychophysique ». Éditions Armand Collin, 1986, 254 p.

BORJA DE MOZOTA (B.), « Design Management ». Éditions d'Organisations, 2002, 338 p.

BOUCHARD (C.), CAMOUS (R.) et AOUSSAT (A.), "Nature and Role of Intermediate Representations (IR) in the Design Process: Case Studies in Car Design". *International Journal of Vehicle Design* 38 (1), 2005, p. 1-25.

BOUJUT (J.-F.) et LAUREILLARD (P.), "A Co-operation Framework for Product-Process Integration in Engineering Design". *Design Studies* 23, 2002, p. 497-513.

BROBERG (O.), ANDERSEN (V.) et SEIM (R.), "Participatory Ergonomics in Design Processes: the Role of Boundary Objects". *Applied Ergonomics* 42 (3), 2011, p. 464-472.

C

CARLILE (P. R.), "A Pragmatic View of Knowledge and Boundaries: Boundary Objects in New Product Development". *Organization Science* 13, 2002, p. 442-455.

CARLILE (P. R), "Transferring, Translating, and Transforming: an Integrative Framework for Managing Knowledge Across Boundaries". *Organization Science* 15, 2004, p. 555-568.

CATTAN (M.), « Maîtriser le processus de conception ». Éditions AFNOR, 2004, 126 p.

CATTANEO (Z.), VECCHI (T.), CORNOLDI (C.), MAMMARELLA (I.), BONINO (D.), RICCIARDI (E.) et PIETRINI (P.), "Imagery and Spatial Processes in Blindness and Visual Impairment". *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 32, 2008, p. 1346-1360.

CLARKSON (J.) et COLEMAN (R.), "Editorial: Inclusive Design". *Journal of Engineering Design* 21 (2-3), 2010, p. 127-129.

CLAUDET (P.), « La Problématique de l'image tactile ». Communication invitée et publiée dans les *Actes du colloque « Texte et Image : transcription et adaptation »*, organisé par l'association le Livre de l'Aveugle et le Centre national de formation des enfants déficients sensoriels, 2007, p. 62-71.

CONTE (M.), « "Design for all" : un concept universaliste qui s'impose ». In *Pour une éthique durable de conception des produits pour tous*. Éditions CTNERHI, 2004, p. 49-72.

CONTE (M.), « Produits pour tous et bases de données : des enjeux partagés ». In *Handicap et environnement : de l'adaptation du logement à l'accessibilité de la cité*. Éditions Frison Roche, 2005, p. 199-210.

CORNOLDI (C.) et VECCHI (T.), « Cécité précoce et images mentales spatiales ». In Hatwell Y., Streri A., Gentaz E. *Toucher pour connaître*. Éditions Presses Universitaires de France, 2000, p. 175-186.

COSTES (E.), « Concevoir et développer des traducteurs multisensoriels à partir des photographies de Yann Arthus-Bertrand ». Laboratoire Conception de produits et innovation, Paris, ENSAM, 2007.

COSTES (E.), BASSEREAU (J.-F.), RODI (O.) et AOUSSAT (A.), "Graphic Design for Blind Users: an Industrial Case Study". Proceedings of IASDR'09, International Conference of the International Association of Societies of Design Research - Rigor and Relevance, 2009, 10 p.

D

DANDONA (L.) et DANDONA (R.), "What is the Global Burden of Visual Impairment?" *BMC Medicine* 4 (6), 2006, 10 p.

DE RAMEFORT (M.), « De l'objet à l'œuvre. La modalité tactile, nouvelle orientation de médiation ». *Reliance* 29, 2008, p. 120-122.

DE ROUVRAY (A.), « Intégration des préférences émotionnelles et sensorielles dans la conception de produits d'ameublement : proposition d'une méthode d'ingénierie affective ». Laboratoire Conception de produits et innovation, Paris, ENSAM, 2007.

DETIENNE (F.), BOUJUT (J.-F.) et HOHMANN (B.), "Characterization of Collaborative Design and Interaction Management Activities in a Distant Engineering Design Situation". In Darses F., Dieng R., Simone C., Zaklad M. *Cooperative Systems Design*. IOS Press, 2004, p 83-98.

DEVAILLY (J.-P.), « Design universel : un nouveau paradigme pour l'accessibilité ? » *Journal de réadaptation médicale : pratique et formation en médecine physique et de réadaptation* 30 (3), 2010, p. 93-95.

DIDEROT (D.), « Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient ». Éditions Folio, 2006, 1^{re} édition 1749, 116 p.

DUPIN (M.), « Prendre en compte l'utilisateur dans le processus de conception de produits : différentes approches de l'Universal Design ». Laboratoire Conception de produits et innovation, Paris, ENSAM, 2007.

E

ELLENBERGER (M.), « Evgen Bavčar, visionnaire du noir absolu ». *Art Press* 154, 1991, p. 47-50.

EN 1325-1, norme européenne. Vocabulaire du management de la valeur, l'analyse de la valeur et de l'analyse fonctionnelle. Partie 1 : analyse de la valeur et analyse fonctionnelle, 1996.

ERIKSSON (Y.), "How to Make Tactile Pictures Understandable to the Blind Reader". In proceedings of the 65th IFLA Council and General Conference, 1999, 15 p.

ESPINOSA (M.A.), UNGAR (S.), OCHAITA (E.), BLADES (M.) et SPENCER (C.), "Comparing Methods for Introducing Blind and Visually Impaired People to Unfamiliar Urban Environments". *Journal of Environmental Psychology* 18, 1998, p. 277-287.

F

FD X50-101, norme française. Analyse fonctionnelle. L'analyse fonctionnelle outil interdisciplinaire de compétitivité, 1995.

FINDELI (A.), « Qu'appelle-t-on "théorie" en design ? Réflexions sur l'enseignement et la recherche en design ». In Flammand B. *Le Design, essais sur des théories et des pratiques*. IFM / éditions Du Regard, 2006, p. 77-98.

FINDELI (A.), BROUILLET (D.), MARTIN (S.), MOINEAU (C.) et TARRAGO (R.), "Research through Design and Transdisciplinarity: a Tentative Contribution to the Methodology of Design Research". Focused Current Design Research Projects and Methods Swiss Design Network Symposium 2008, 2008, p. 67-91.

FOULKE (E.), "Perception, Cognition and the Mobility of Blind Pedestrians". In Potegal M., *Spatial Abilities : Development and Physiological Foundations*. CA: Academic Press, 1982, p. 55-76.

G

GABILLARD (M. M.), « Loisirs pour tous ? Design pour tous ! Aller au-delà ! » *Design Plus Magazine* 32, 2008, p. 12-14.

GENETTE (G.), « L'Œuvre de l'art ». Éditions du Seuil, 2010, 1^{re} édition 1994, 816 p.

GENTAZ (E.) et HATWELL (Y.), « Le traitement haptique des propriétés spatiales et matérielles des objets ». In Hatwell Y., Streri A. et Gentaz E. *Toucher pour connaître*. Éditions Presses Universitaires de France, 2000, p. 129-158.

GREGORI (N.), BLANCO (E.), BRASSAC (C.) et GARRO (O.), « Analyse de la distribution en conception par la dynamique des objets intermédiaires ». *Les objets en conception, Actes de 01DESIGN'97*, 1997, p 135-154.

GROSBOIS (L.-P.), « Handicap et construction, conception et réalisation : espaces urbains, bâtiments publics, habitations, équipements et matériels adaptés ». Éditions Le Moniteur, 2003, 380 p.

GUIDOT (R.), « Design : carrefour des arts ». Éditions Flammarion, 2003, 431 p.

H

HAMONET (C.), « La Notion de handicap ». *Annales de réadaptation et de médecine physique* 46, 2003, p. 521-524.

HATCHUEL (A.), « Quelle analytique de la conception ? Parure et pointe en design ». In Flammand B. *Le Design, essais sur des théories et des pratiques*. IFM / Éditions Du Regard, 2007, p. 147-160.

HATWELL (Y.), « Les procédures d'exploration manuelle chez l'enfant et l'adulte ». In Hatwell Y., Streri A. et Gentaz E. *Toucher pour connaître*. Éditions Presses Universitaires de France, 2000, p. 71-84.

HATWELL (Y.) et MARTINEZ-SAROCCHI (F.), « La lecture tactile des cartes et dessins, et l'accès des aveugles aux œuvres d'art ». In Hatwell Y., Streri A. et Gentaz E. *Toucher pour connaître*. Éditions Presses Universitaires de France, 2000, p. 267-282.

HATWELL (Y.), « Psychologie cognitive de la cécité précoce ». Éditions Dunod, 2003, 213 p.

HATWELL (Y.), « Toucher les livres tactiles ». Communication invitée et publiée dans les *Actes du colloque « Texte et image : transcription et adaptation »*, organisé par l'association le Livre de l'Aveugle et le Centre national de formation des enfants déficients sensoriels, 2007, p. 52-55.

HILLIS (C.), "Talking Images: Museums, Galleries and Heritage Sites". *International Congress Series* 1282, 2005, p. 855-859.

HORSFALL (B.), "Tactile Maps: New Materials and Improved Designs". *Journal of Visual Impairment and Blindness* 91 (1), 1997, p 61-65.

HOSKING (I.), WALLER (S.) et CLARKSON (P. J.), "It is Normal to be Different: Applying Inclusive Design in Industry". *Interacting with computers* 22 (6), 2010, p. 496-501.

HOWARD (T. J.), CULLEY (S. J.) et DEKONINCK (E.), "Describing the Creative Design Process by the Integration of Engineering Design and Cognitive Psychology Literature". *Design Studies* 29 (2), 2008, p. 160-180.

I

ITTEN (J.), « L'Art de la couleur ». Éditions Dessain et Tolra, 1990, 155 p.

J

JIMENEZ (J.), OLEA (J.), TORRES (J.), ALONSO (I.), HARDER (D.) et FISCHER (K.), "Biography of Louis Braille and Invention of the Braille Alphabet". *Survey of Ophtalmology* 54 (1), 2009, p. 142-149.

JOHANSSON (R. S.) et VALLBO (A. B.), "Tactile Sensibility in the Human Hand Relative and Absolute Densities of Four Types of Mechanoreceptive Units in Glabrous Skin". *The Journal of Physiology* 286, 1979, p. 283-300.

JOHANSSON (R. S.) et VALLBO (A. B.), "Tactile Sensory Coding in the Glabrous Skin of the Human Hand". *Trends in Neuroscience* 6, 1983, p. 27-32.

K

KEATES (S.), CLARKSON (P. J.) et ROBINSON (P.), "Developing a Practical Inclusive Interface Design Approach". *Interacting with Computers* 14 (4), 2002, p. 271-299.

KEATES (S.) et CLARKSON (J.), "Countering Design Exclusion: an Introduction to Inclusive Design". Éditions Springer, 2004, 227 p.

KLATZKY (R. L.) et LEDERMAN (S. J.), « L'identification haptique des objets significatifs ». In Hatwell Y., Streri A. et Gentaz E. *Toucher pour connaître*. Éditions Presses Universitaires de France, 2000, p. 109-128.

KULA (D.) et TERNAUX (E.), "Materiology". Éditions Birkhäuser, 2008, 342 p.

L

LAI (H. H.) et CHEN (Y. C.), "A Study on the Blind's Sensory Ability". *International Journal of Industrial Ergonomics* 36 (6), 2006, p. 565-570.

LANE (R.) et MIRANDA (J.), "Exhibition Around the World in 80 Minutes". *The Lancet* 362 (9401), 2003, p. 2123-2124.

LAUREILLARD (P.), BOUJUT (J.-F.) et JEANTET (A.), « Conception intégrée et entités de coopération ». Actes de 01DESIGN'97, 1997, p. 119-134.

LCPI, « Dossier unique de demande de reconnaissance d'unité de recherche du laboratoire conception de produits et innovation ». Contractualisation vague D, 2010-2013, 2008.

LEDERMAN (S. J.) et KLATZKY (R. L.), "Hand Movements: a Window into Haptic Object Recognition". *Cognitive Psychology* 19, 1987, p. 342-368.

LEDERMAN (S. J.) et KLATZKY (R. L.), "Extracting Object Properties Through Haptic Exploration". *Acta Psychologica* 84, 1993, p. 29-40.

LEMAY (L.), RATELLE (A.) et KREIS (S.), "Helping Designers Meet the Visually Impaired Needs: Partners Get Together to Promote Accessibility". *International Congress Series* 1282, 2005, p. 1031-1033.

LOEWY (R.), « Design Industriel ». Editions du Chêne / Hachette, 1979, 250 p.

LOOMIS (J. M.) et LEDERMAN (S. J.), "Tactual Perception". In Boff K., Kaufman L., Thomas J. *Handbook of Perception and Human Performance*, 1986, volume 2, chap. 31, 41 p.

LÓPEZ (M. D. L.), "Accessibility for Blind and Visually Impaired People". *International Congress Series* 1282, 2005, p. 1038-1040.

M

MAGNON (L.) et QUARANTE (D.), « Design industriel ». Éditions Techniques de l'Ingénieur, 2010, 1^{re} édition 1996, 24 p.

MARTINEZ (R.) et PARADE (M.), « Repères sur les personnes atteintes de déficience visuelle ». Éditions CTNERHI, 2005, vol. 1, 95 p.

MER (S.), JEANTET (A.) et TICHKIEWITCH (S.), « Les objets intermédiaires de la conception : modélisation et communication ». In Caelen J., Zreik K. *Le Communicationnel pour concevoir*. Éditions Europa, 1995, p 21-41.

MILLAR (S.), "The Utilization of External and Movement Cues in Simple Spatial Tasks by Blind and Sighted Children". *Perception* 8, 1979, p. 11-20.

MITRA, « Les carnets de la Mitra n° 5 : Vademecum illustré du label tourisme et handicap ». Rhône-Alpes Tourisme, 2005, 32 p.

MORICE (J.-C.), « Dessin en relief en construction en volume ». *L'art et la manière*, 29^{es} Journées pédagogiques du GPEAA, 1992, p. 67-73.

MOUGENOT (C.), « Modélisation de la phase d'exploration du processus de conception de produits, pour une créativité augmentée ». Laboratoire de conception de produits et innovation, Paris, ENSAM, 2008.

MUSÉE DU QUAI BRANLY, « Arts et civilisations d'Afrique, d'Asie, d'Océanie et des Amériques ». Direction de la communication, 2010, 65 p.

MUSÉE NATIONAL D'ART MODERNE - CENTRE DE CRÉATION INDUSTRIELLE PARIS, « Elles@centrepompidou : artistes femmes dans la collection du musée national d'Art moderne ». *Centre de création industrielle*. Éditions Centre Georges-Pompidou, 2009, 381 p.

N

NF EN 15823, norme européenne. Emballage. Braille sur les emballages destinés aux médicaments, 2010.

NF EN ISO 5456-1, norme européenne. Dessins techniques. Méthodes de projection. Partie 1 : récapitulatif, 1999.

NF EN ISO 5456-2, norme européenne. Dessins techniques. Méthodes de projection. Partie 2 : représentations orthographiques, 1999.

NF EN ISO 5456-3, norme européenne. Dessins techniques. Méthodes de projection. Partie 3 : représentations axonométriques, 1999.

NF EN ISO 5492, norme européenne. Analyse sensorielle. Vocabulaire, 2009.

NF Q 67-004, norme française. Technologie graphique. Spécifications typographiques recommandées pour les déficients visuels, 1983.

NF Q 67-007, technologie graphique. Nomenclature illustrée des familles de caractères. Classification de Maximilien Vox, 1977.

NF Q 67-502, norme française. Technologie graphique. Critères de visibilité de la communication graphique. Le message imprimé, 1985.

P

PAPADIMITRIOU (K.) et PELLEGRIN (C.), "Dynamics of a Project Through Intermediary Objects of Design (IODs): a Sensemaking Perspective". *International Journal of Project Management* 25 (5), 2007, p. 437-445.

PERRIN-BRUNEAU (F.), « Proposition d'une démarche d'intégration de nouvelles méthodes en conception : éléments pour la définition du rôle de l'intégrateur "méthode" ». Laboratoire conception de produits et innovation, Paris, ENSAM, 2005.

PLOS (O.), BUISINE (S.), DUPIN (M.), AOUSSAT (A.) et DUMAS (C.), « Universal Design : proposition d'une nouvelle approche appliquée à la conception d'une table adaptative ». Congrès de la Société d'ergonomie de langue française, 2007, p. 339-348.

PLOS (O.), « Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : application au marché du handicap moteur ». Laboratoire Conception de produits et innovation, Paris, ENSAM, 2011.

R

RATELLE (A.), LEMAY (L.) et KREIS (S.), « Fiche n° 8 : couleur / contraste. In Critères d'accessibilité répondant aux besoins des personnes ayant une déficience visuelle ». Société logique / Institut Nazareth et Louis-Braille, 2003, 4 p.

RAYNARD (F.), « Un autre regard. La réadaptation des déficients visuels ». Éditions Solal, 2003, 237 p.

RESNIKOFF (S.), PASCOLINI (D.), ETYA'ALE (D.), KOCUR (I.), PARARAJASEGARAM (R.), POKHAREL (G. P.) et MARIOTTI (S. P.), "Global Data on Visual Impairment in the Year 2002". *Bulletin World Health Organization* 82, 2004, p. 844-851.

RÉVÉSZ (G.), "Psychology and Art of the Blind". Éditions Longmans Green, 1950, 338 p.

RICHARD (F.), VAZ-CERNIGLIA (C.) et PORTALIER (S.), « Évolution des procédures haptiques chez des sujets voyants, aveugles tardifs et aveugles précoces ». *Revue européenne de psychologie appliquée* 54, 2004, p. 227-236.

S

SHIMIZU (Y.), SAIDA (S.) et SHIMURA (H.), "Tactile Pattern Recognition by Graphic Display: Importance of 3-D Information for Haptic Perception of Familiar Objects". *Perception and Psychophysics* 53 (1), 1993, p. 43-48.

SHINOHARA (K.) et TENENBERG (J.), "A Blind Person's Interactions with Technology". *Communications of the ACM* 52 (8), 2009, p. 58-66.

SMITH (M.), FRANZ (E. A.), JOY (S.M.) et WHITEHEAD (K.), "Superior Performance of Blind Compared to Sighted Individuals on Bimanual Estimation of Object Size". *Psychological Science* 16, 2005, p. 11-14.

SNYDER (J.), "Audio Description: the Visual Made Verbal". *International Congress Series* 1282, 2005, p. 935-939.

STAR (S.L.) et GRIESEMER (J. R.), "Institutional Ecology, Translations and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology". *Social Studies of Science* 19 (3), 1989, p. 387-420.

STORY (M. F.), MUELLER (J. L.) et MACE (R. L.), "The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities" (Revised Edition). North Carolina State University, Raleigh, Center for Universal Design, 1998, 170 p.

T

THINUS-BLANC (C.) et GAUNET (F.), "Representation of Space in Blind Persons: Vision as a Spatial Sense ?" *Psychological Bulletin* 121, 1997, p. 20-42.

THOMPSON (L. J.), CHRONICLE (E. P.) et COLLINS (A. F.), "Enhancing 2-D Tactile Picture Design from Knowledge of 3-D Haptic Object Recognition". *European Psychologist* 11 (2), 2006, p. 110-118.

V

VANBELLE (F.), « Existe-il une forme de vie esthétique accessible au toucher ? » *Revue d'esthétique* 4, 1972, p. 455-462.

VANDERHEIDEN (G.), "Universal Design... What it is and What it isn't". Trace R & D Center University of Wisconsin, Madison. Design for all, The Center for Universal Design North Carolina, Raleigh, 1996.

VINCK (D.) et LAUREILLARD (P.), « Coordination par les objets dans les processus de conception ». In *Représenter, attribuer, coordonner*. Éditions CSI, Écoles des Mines, 1996, p. 289-295.

VINCK (D.), « De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. Vers la prise en compte du travail d'équipement ». *Revue d'anthropologie des connaissances* 3 (1), 2009, p. 51-72.

W

WHITEHEAD (J.), "What is Audio Description". *International Congress Series* 1282, 2005, p. 960-963.

INDEX DES FIGURES

Figure 1. Les cinq marques du groupe Alain Mikli International	23
Figure 2. Désignation des éléments qui composent une paire de lunettes	24
Figure 3. Exemples de campagnes de communication	24
Figure 4. Schéma du processus de création en six phases	25
Figure 5. Pôles de recherche du LCPI	29
Figure 6. Modèle générique de processus de conception du LCPI	30
Figure 7. Phase (1) : traduction du besoin	31
Figure 8. Comparaison des étapes décrites dans les processus de conception étudiés	33
Figure 9. Étapes du processus de conception à définir	34
Figure 10. Catégories et groupes d'études identifiés dans notre état de l'art.....	35
Figure 11. Champs de recherche identifiés	36
Figure 12. De gauche à droite, l'échelle de Monoyer, de Parinaud et la coupole de Goldman	41
Figure 13. Disciplines et domaines connexes à notre recherche	48
Figure 14. Schéma non exhaustif des divers concepts de conception centrée utilisateur d'après [Dupin 2007].....	51
Figure 15. The Inclusive Design Cube	55
Figure 16. « The User Pyramid » (en haut, à gauche) qui a inspiré l'approche « Top-down » et « Bottom-up » (en bas).....	56
Figure 17. Démarche en trois phases et sept étapes	57
Figure 18. Positionnement de nos travaux de recherche par rapport aux démarches existantes étudiées.....	58
Figure 19. Exemple de parcours « cyclique » et en « va-et-vient » des objets explorés	67
Figure 20. Photographies des deux représentations (par contours à gauche et par surface à droite)	69
Figure 21. Comparaison des deux représentations en pourcentage de réponses correctes pour chaque groupe	69
Figure 22. Taxyform (des huit illustrations « réalistes »).....	70
Figure 23. Les huit illustrations « réalistes ».....	71
Figure 24. Alphabet braille français (document réalisé par Pierre Pardo).....	73
Figure 25. Les quatre familles de polices recommandées pour les lecteurs amblyopes	76
Figure 26. Représentations tactiles d'un objet usuel par méthode de <i>projection orthogonale</i> .	77
Figure 27. Représentations tactiles d'éléments architecturaux par la méthode de <i>projection orthogonale</i>	77
Figure 28. Synthèse des visites dans les musées pour les personnes aveugles et amblyopes	79
Figure 29. Schéma de la problématique de recherche	87
Figure 30. Schéma de l'hypothèse 1	89
Figure 31. Transfert de connaissances : de l'étude de l'individu vers le produit à concevoir (étape 1)	90
Figure 32. Conception des maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile » (étape 2) ..	91
Figure 33. Deux cycles itératifs de conception/d'évaluation (étape 3) avant la mise en place au sein d'un parcours	93
Figure 34. Les contrastes tactiles mis en forme à l'aide du diagramme d'Ishikawa	96
Figure 35. Lien entre les deux hypothèses	97
Figure 36. Parcours tactile mis en place au Centre Georges-Pompidou en janvier 2009	101
Figure 37. Détails de deux maquettes thermogonflées	104
Figure 38. Maquettes thermogonflées sans texte	106
Figure 39. Maquettes thermogonflées avec texte	106
Figure 40. Déclinaisons graphiques tactiles	107
Figure 41. Synthèse des résultats de la partie 1 des entretiens	108
Figure 42. Synthèse des résultats de la partie 2 des entretiens	109
Figure 43. Étapes dans la compréhension d'une représentation tactile.....	109
Figure 44. Représentations picturales tactiles et panneaux explicatifs de J. Gris (à gauche) et de B. Piffaretti (à droite)	113
Figure 45. Les expositions itinérantes « Regards tactiles »	122
Figure 46. Exemples de photographies de <i>La Terre vue du ciel</i>	124

Figure 47. Synthèse des résultats sous forme de fréquences.....	129
Figure 48. Schémas du relief des deux représentations intermédiaires.....	132
Figure 49. Photographies des maquettes.....	133
Figure 50. Étapes de la démarche	148
Figure 51. Emplacement du parcours audio-tactile au sein de « la Rivière » au musée du quai Branly	149
Figure 52. Étapes de la démarche-modèle appliquée au projet de parcours au musée du quai Branly	151
Figure 53. Panneaux explicatifs mis en place au musée du quai Branly contenant la représentation égocentrée du format réel de l'œuvre	154
Figure 54. Détails de deux bas-reliefs mis en place au sein du parcours au musée du quai Branly	154
Figure 55. Détail d'une photographie de <i>La Terre vue du ciel</i> usinée.....	155
Figure 56. Détail d'une photographie de <i>La Terre vue du ciel</i> imprimée (avant dépoudrage de la pièce).....	155
Figure 57. Schéma montrant les travaux de R&D à réaliser	156
Figure 58. Masque en volume (à gauche) et détail d'un bas-relief (à droite) mis en place au sein du parcours au musée du quai Branly.....	157
Figure 59. Schéma du positionnement de notre apport par rapport à l'état de l'art théorique.....	160

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1. Organisation des quatre expérimentations en fonction des deux hypothèses énoncées.....	18
Tableau 2. Classification des atteintes de la vision selon la CIM-10	42
Tableau 3. Les sept principes de l'Universal Design	53
Tableau 4. Catégorisation des objets-frontières.....	60
Tableau 5. Typologie des maquettes « bonnes sensations »	63
Tableau 6. Réponses des élèves aveugles et voyants concernant la longueur de leur classe .	68
Tableau 7. Réponses des élèves aveugles et voyants concernant la largeur de la porte d'entrée de leur classe	68
Tableau 8. Comparaison entre la perception visuelle et tactile	71
Tableau 9. Les contrastes colorés recommandés pour les amblyopes	75
Tableau 10. Limites et possibilités des procédés de fabrication de documents en relief	80
Tableau 11. Organisation des expérimentations en fonction des sous-hypothèses et des étapes énoncées.....	100
Tableau 12. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre première expérimentation	102
Tableau 13. Participants - première expérimentation.....	103
Tableau 14. Étapes de la première expérimentation - guide d'entretien	105
Tableau 15. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre deuxième expérimentation	112
Tableau 16. Participants - deuxième expérimentation	112
Tableau 17. Étapes de la deuxième expérimentation - guide d'entretien	114
Tableau 18. Profils des huit participants.....	115
Tableau 19. Résultats de l'exploration filmée	116
Tableau 20. Résultats des questions ouvertes	117
Tableau 21. Synthèse des résultats des entretiens	119
Tableau 22. Synthèse des étapes testées en lien avec la méthodologie	120
Tableau 23. Synthèse de la sous-hypothèse testée en lien avec le produit conçu.....	121
Tableau 24. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre troisième expérimentation.....	123
Tableau 25. Participants - troisième expérimentation	124
Tableau 26. Étapes de la troisième expérimentation - guide d'entretien	125
Tableau 27. Synthèse des descripteurs relatifs à l'eau énoncés par les trente-deux participants	126
Tableau 28. Synthèse des descripteurs relatifs au ciel énoncés par les trente-deux participants	127
Tableau 29. Synthèse des descripteurs relatifs à la végétation énoncés par les trente-deux participants	127
Tableau 30. Synthèse des descripteurs relatifs au sable énoncés par les trente-deux participants	127
Tableau 31. Synthèse des descripteurs relatifs à la roche énoncés par les trente-deux participants	128
Tableau 32. Synthèse des résultats des questions ouvertes et semi-ouvertes.....	130
Tableau 33. Sous-hypothèses et étapes testées dans notre quatrième expérimentation	131
Tableau 34. Participants - quatrième expérimentation	131
Tableau 35. Étapes de la quatrième expérimentation - guide d'entretien	134
Tableau 36. Profils des douze participants.....	135
Tableau 37. Synthèse des résultats des entretiens	136
Tableau 38. Synthèse des résultats des entretiens	137
Tableau 39. Synthèse des étapes testées en lien avec la méthodologie	138
Tableau 40. Synthèse de la sous-hypothèse testée en lien avec le produit conçu.....	140
Tableau 41. Récapitulatif des contrastes tactiles définis en partie 3.....	153

INDEX DES ANNEXES

Annexe 1. Panneau visuel et tactile de Juan Gris.....	186
Annexe 2. Panneau visuel et tactile de Bernard Piffaretti.....	187
Annexe 3. PowerPoint de la soutenance de thèse	188

ANNEXES

Découvrez l'image tactile d'une peinture moderne de notre Collection.

L'interprétation de cette œuvre est gravée en 8 niveaux de relief sur une plaque d'acétate de cellulose, format A3.

Codes de lecture : en relief haut, de couleur noire, les éléments forts qui structurent le tableau ; au niveau bas, de couleur blanche, les éléments secondaires de la composition.

JUAN GRIS (1887-1927)

« Nature morte sur une chaise »

Une œuvre cubiste de 1917

Peinture à l'huile sur panneau de bois.

100 x 73 cm.

Le tableau au format vertical montre son sujet en cadrage rapproché. On découvre d'abord des plans découpés, serrés, parfaitement imbriqués les uns aux autres.

En partant du relief le plus haut, au centre du tableau puis en découvrant juste à côté un plan en creux, on repère dans un premier temps un cône divisé verticalement. Il s'agit d'un broc à eau avec un bec arrondi. Il est peint de façon descriptive par le plein de sa forme et le vide qu'il enferme.

En continuant l'exploration des plans qui entourent le récipient, on découvre la chaise qui le porte, objet reconnaissable par son dossier à trois barreaux horizontaux, son assise presque carrée et ses pieds droits dont trois sont déployés en avant bas du tableau.

En s'éloignant du centre, on découvre la pièce dans laquelle ces objets sont disposés. Dans la moitié haute à gauche : le mur et sa plinthe aux lignes creuses ; sur le côté gauche, de la moitié au bas du tableau : les nœuds du bois des lattes du parquet posé en oblique.

Les couleurs du tableau sont plutôt sombres, si ce n'est le turquoise du broc qui exprime la teinte de son émail et la fraîcheur de l'eau qu'il peut contenir.

La « nature morte » est un thème pictural classique. Juan Gris l'aborde dans ce tableau de manière cubiste, c'est-à-dire qu'il rassemble sur un seul plan plusieurs vues de son sujet qu'il épure en formes géométriques.



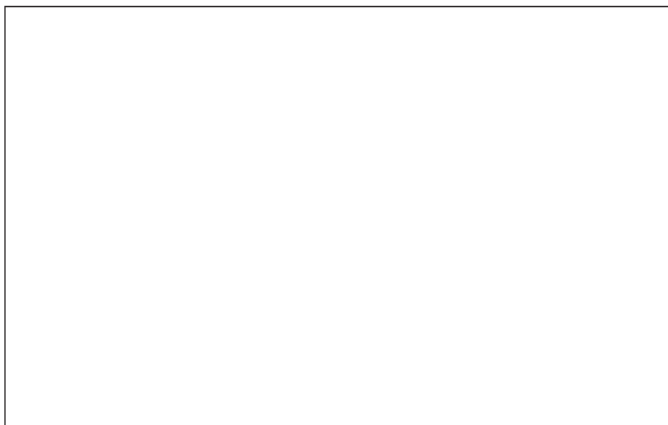
Pour connaître le format de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension des deux mains dessinées à votre gauche.

Expérimentation menée par le Service éducatif du Centre Pompidou grâce à une technologie Alain Mikli



Annexe 1. Panneau visuel et tactile de Juan Gris

Découvrez l'image tactile d'une peinture contemporaine de notre Collection.

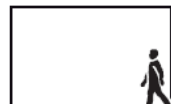


L'interprétation de cette œuvre est gravée en 8 niveaux de relief sur une plaque d'acétate de cellulose, format A3.

Codes de lecture : en relief haut, de couleur noire, les éléments forts qui structurent le tableau ; au niveau bas, de couleur blanche, les éléments secondaires de la composition.



© Adagg, Paris 2000



Pour connaître le format de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension de la silhouette dessinée à votre gauche.

PIFFARETTI – né en 1955
Sans-titre, 2000

Peinture acrylique sur toile
289cm x 454cm

Les doigts découvrent d'abord en relief haut une ligne verticale qui partage le tableau en deux parties égales. Cette ligne est considérée par l'artiste comme « l'acte premier du tableau, un acte simple, neutre, presque universel et le plus important ».

De chaque côté de la ligne de partition, on trouve à différents niveaux de relief des surfaces rectangulaires de couleurs sur fond blanc. Il s'agit d'aplats, de larges brossages ou de grilles.

Parfois aussi la couleur a été brossée à plat par-dessus la grille.

Ces surfaces ont été travaillées par le peintre sans aucun effet, en y laissant les repentirs.

La peinture proposée est banale, dans sa réalité concrète, sans sujet, ni style, ni nourrie d'aucun fantasme.

Ramené à un relief format A3, la découverte progressive et comparative avec les deux mains des surfaces peintes révèle de chaque côté de la ligne de partition des surfaces au premier abord identiques et cependant dissemblables.

Dans ce tableau de très grand format, l'artiste a d'abord traité le sujet d'un côté de la ligne de partage. Puis il l'a reproduit de l'autre côté. Au cours de la redite, le sujet a subi des transformations. L'écart temporel entre les deux interventions a engendré un écart physique entre le sujet et sa copie.

Dans cette peinture abstraite, comme dans toute son œuvre, le peintre a réalisé une peinture neutre reprise par la duplication. Par ce protocole, Piffaretti déjoue dans et par son œuvre l'action de peindre dans une attitude dite « sans regret ni progrès ».



Expérimentation menée par le Service éducatif du Centre Pompidou grâce à une technologie Alain Mikli

Annexe 2. Panneau visuel et tactile de Bernard Piffaretti

Annexe 3. PowerPoint de la soutenance de thèse




Prise en compte de la perception tactile dans
la conception de représentations d'œuvres d'art
pour les personnes en situation de handicap visuel

Estelle Costes, laboratoire Conception de Produits et Innovation, Arts et Métiers ParisTech / groupe Alain Mikli International

Jury :
 Rapporteur **Mme Brigitte BORJA DE MOZOTA**, Maître de Conférences HDR, CRICC, Université Paris 1
 Rapporteur **M. Jean-François BOUJUT**, Professeur, G-SOOP, INP de Grenoble
 Examineur **Mme Yvette HATWELL**, Professeur honoraire, LPNC, Université Pierre Mendès France de Grenoble
 Examineur **M. Philippe VÉRON**, Professeur, LSIS, Arts et Métiers ParisTech
 Directeur **M. Amélie AOUSSAT**, Professeur, LCPI, Arts et Métiers ParisTech
 Co-directeur **M. Jean-François BASSEREAU**, Chargé de recherche, SMS, École des Mines de Saint-Étienne
 Invite **M. Alain Mikli**, Fondateur et Dirigeant du groupe Alain Mikli International
 Invite **M. Richard Chêne**, Chef de projet R&D, R&D Industries pour Alain Mikli International

représentation intermédiaire

représentation en relief

perception tactile

handicap visuel

œuvre d'art

conception

2

Prise en compte de la perception tactile dans
la conception de représentations d'œuvres d'art
pour les personnes en situation de handicap visuel

partie 01 contexte et problématique

partie 02 travail expérimental

partie 03 apports et perspectives

3

Prise en compte de la perception tactile dans la conception de représentations d'œuvres d'art pour les personnes en situation de handicap visuel

partie 01 contexte et problématique

- > méthodologie de recherche
- > positionnement scientifique et industriel
- > caractéristiques de la perception tactile
- > visites existantes
- > démarches de conception universelle et centrée utilisateur
- > typologies de représentations intermédiaires

partie 02 travail expérimental

partie 03 apports et perspectives

4

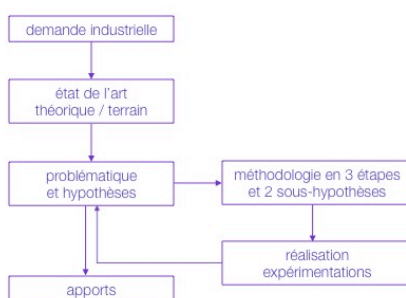
01 méthodologie de recherche

Quelle a été notre méthodologie de recherche ?

01

02

03



5

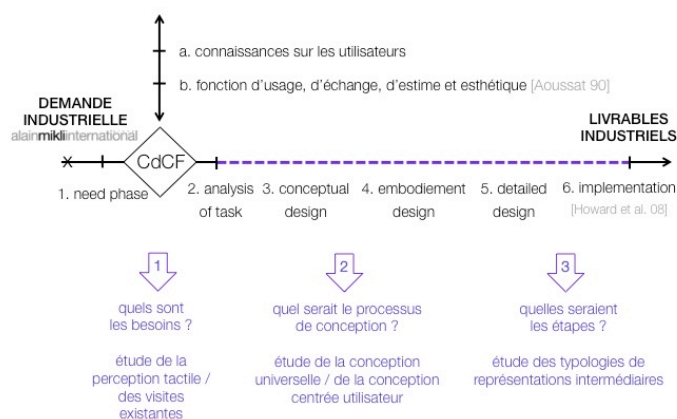
01 positionnement scientifique de la recherche

Quel est notre périmètre de recherche ?

01

02

03



6

01 positionnement industriel : le groupe A.M.I.

Quelle est la demande industrielle ?

01

02

03



1978

S+ARCK®
EYESLJIM
by
MIKLIJean Paul
GAULTIER by MIKLI

> 2003



[Miranda, Lane 03]

TERRE

demande industrielle :

« Concevoir une nouvelle
génération d'expositions tactiles. »

ALAIN MIKLI

7

01 positionnement scientifique de la recherche

Quel est notre périmètre de recherche ?

01

02

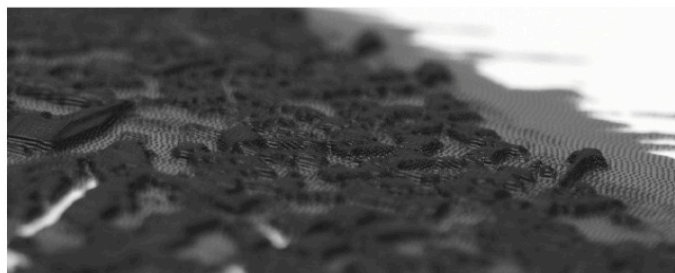
03

SYNTHÈSE :



✓ depuis 2003, représentations tactiles en acétate de cellulose réalisées par usinage à C.N.

✓ mettre au point un process de conception et de fabrication de ces représentations tactiles.



8

01 étude de la perception tactile

Pourquoi ?

01

02

03

> modalité sensorielle à laquelle les personnes aveugles ont le plus recours [Hatwell 03] [Révész 50]

> personnes aveugles :
acuité visuelle après correction intérieure à 1/20°
champ visuel inférieur à 10° [O.M.S.]
exploration tactile

> précoces	> tardives
avant l'âge de 3 ans	après l'âge de 3 ans
pas de souvenirs visuels	souvenirs des conventions visuelles

[Thompson et al. 06]

> personnes amblyopes :
acuité visuelle après correction entre 3/10° et 1/20°
champ visuel compris entre 10° et 20° [O.M.S.]
découverte tactile et/ou visuelle

9

01 caractéristiques de la perception tactile

Quelles sont ses spécificités ?

01

02

03

- > **exiguë** [Hatwell 03] [Hatwell, Martinez-Sarocchi 00]
- > **séquentielle** [Cattaneo et al. 08] [Gentaz, Hatwell 00] [Hatwell, Martinez-Sarocchi 00]
- > **reconnaissance à partir des propriétés matérielles (textures, dureté et température)** [Klatzky, Lederman 00]
- > **représentation de l'espace egocentrée** [Hatwell 03]

processus d'identification d'un objet / d'un plan en relief :

contact avec les récepteurs cutanés

- > contact statique,
- > frottement latéral,
- > soulèvement,
- > pression,
- > enveloppement,
- > suivi de contours.

propriétés extraites de l'objet

accès aux formes en relief

lisibilité

traitement pour reconnaissance

compréhension des éléments

compréhension

[Johansson et Valbo 79 ; 83]
[Lederman, Klatzky 87 ; 93]
[Richard et al. 04]

[Hatwell 03]
[Hatwell, Martinez-Sarocchi 00]

10

01 visites existantes

Quelles sont les limites des visites proposées ?

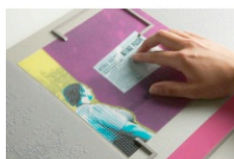
01

02

03

visites proposées :

- > **parcours tactiles** (maquettes, représentations tactiles, facs simplifiés, œuvres originales, braille)
- > **visites audio** (casques, audioguides, conférenciers, audiodescriptions) [Snyder 05] [Whitehead 05] [Hills 05]
- > **visites audio-tactiles / multimodales**



Centre d'Histoire de la Résistance et de la Déportation de Lyon



musée du quai Branly



Musée des années 30

© Thomas Blangies

leurs limites :

- > aspects tactiles des représentations d'œuvres d'art **non normalisés**

11

01 positionnement scientifique de la recherche

Quel est notre périmètre de recherche ?

01

02

03

SYNTHÈSE :

- ✓ **aveugles de naissance ≠ aveugles tardifs ≠ amblyopes**
- ✓ **procédures exploratoires**
- ✓ **propriétés matérielles**
- ✓ **egocentrée**
- ✓ **lisibilité et compréhension**
- ✓ **pas de norme dans les musées**



quels sont les besoins ?

étude de la perception tactile / des visites existantes



quel serait le processus de conception ?

étude de la conception universelle / de la conception centrée utilisateur



quelles seraient les étapes ?

étude des typologies de représentations intermédiaires

12

01 démarches de conception universelle

Quelle est sa définition ?

01

02

03

« On entend par conception universelle la conception de produits, d'équipements, de programmes et de services qui puissent être utilisés par tous, dans toute la mesure possible, sans nécessiter ni adaptation, ni conception spéciale. »

[Devailly 10]

13

01 démarches de conception universelle

Que propose l'*Universal Design* du point de vue méthodologique ?

01

02

03

> sept principes liés à l'utilisation d'un produit

- 1 Utilisation équitable
- 2 Flexibilité d'utilisation
- 3 Utilisation simple et intuitive
- 4 Informations perceptibles
- 5 Tolérance à l'erreur
- 6 Faible niveau d'effort physique
- 7 Dimension et espace libre pour l'approche et l'utilisation

[Story et al. 98]



> pas de recommandations sur les aspects tactiles des « informations perceptibles » (principe n°4)

> objectifs sans décrire le processus

14

01 démarches de conception universelle

Que propose l'*Inclusive Design* du point de vue méthodologique ?

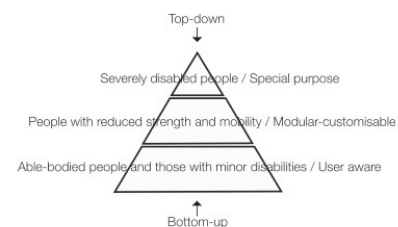
01

02

03

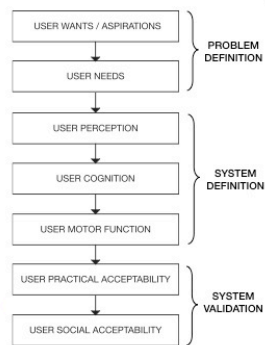
> découpage des besoins par capacités

> deux approches : produits spécifiques étendus / produits grand public



[Keates, Clarkson 04]

> démarche en 3 phases et 7 étapes
 > problème des connaissances sur les utilisateurs pour définir le problème et élaborer le cahier des charges fonctionnel dans l'étape 1



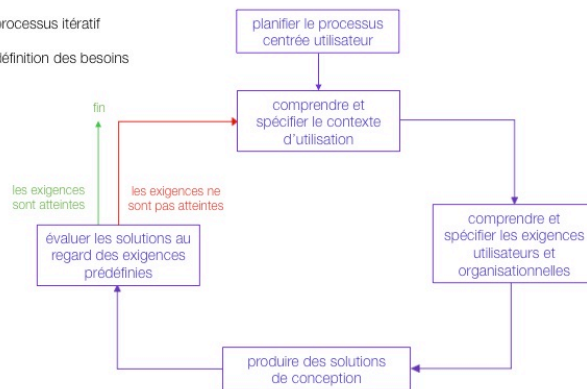
[Keates, Clarkson 04]

15

01 démarches de conception centrée utilisateur

Que propose la conception centrée utilisateur du point de vue méthodologique ?

- > processus itératif
- > définition des besoins



[ISO 13 407]

01

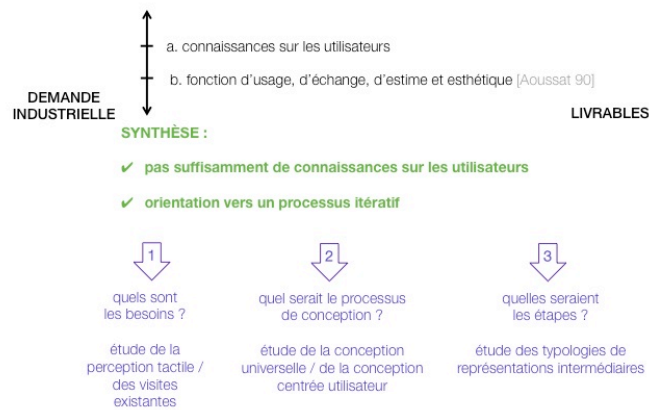
02

03

16

01 positionnement scientifique de la recherche

Quel est notre périmètre de recherche ?



01

02

03

17

01 les représentations intermédiaires

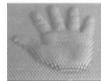
Quelles sont leurs rôles ?

Quelles sont les typologies d'OI / de RI explicites en 3D ?

- > deux fonctions :
 - modéliser la réalité
 - permettre la coordination et la coopération [Mer, Jeantet, Tichkiewitch 96]
- > entités de coopération où objets intermédiaires permettent échanges [Laureillard, Boujut, Jeantet 97]



[Thompson et al. 06]



[Shimizu et al. 93]

représentations en relief
différentes selon le procédé :

- > traits de contours / points
- > surfaces
- > textures / trames

- > objets-frontières : *objects, models and maps* [Carille 02 ; 04]
- > objets intermédiaires : **ouverts** / **fermés**, **commissionnaires** / **médiateurs** [Mer, Jeantet, Tichkiewitch 96]
- > représentations intermédiaires : *maquettes bonnes sensations* [Bassereau et al. 03]

- > typologies en fonction de leur usage au cours du processus de conception, des interactions possibles avec les utilisateurs et de leur perception
- > pas de typologie pour valider les critères de lisibilité et de compréhension

01

02

03

18

01 problématique

Synthèse de l'état-de-l'art

01

02

03



4 constats : > besoins spécifiques liés à la perception tactile

> aspects tactiles des représentations d'œuvres d'art pas normalisés

> définir une démarche de conception en amont des approches de conception universelle existantes

> pas de typologie de maquettes basée sur les critères de lisibilité et de compréhension

19

01 problématique

01

02

03

comment concevoir la représentation tactile
d'œuvres d'art pour les personnes
en situation de handicap visuel ?

20

01 hypothèses et sous-hypothèses

01

02

03

comment concevoir la représentation tactile
d'œuvres d'art pour les personnes
en situation de handicap visuel ?

> Hypothèse 1

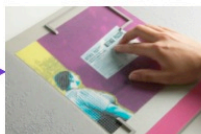
Méthodologie :
Mise en place d'une démarche
de conception

> Hypothèse 2

Produit :
Proposition de concepts / principes
H.2.1. représentation egocentrée du format réel de l'œuvre
H.2.2. principe des contrastes tactiles

> quel processus
de conception ?

> quel produit concevoir ?



21

Prise en compte de la perception tactile dans
la conception de représentations d'œuvres d'art
pour les personnes en situation de handicap visuel

partie 01 contexte et problématique

partie 02 travail expérimental

- > Centre Pompidou : expérimentations 1 et 2
- > La Terre vue du Ciel : expérimentations 3 et 4

partie 03 apports et perspectives

22

02 travail expérimental

Organisation des expérimentations en fonction des hypothèses

01

02

03

CONTEXTE EXPÉRIMENTATIONS	H.1 : MÉTHODOLOGIE			H.2 : PRODUIT	
	Étape 1 : transfert de connaissances	Étape 2 : maquettes tactiles	Étape 3 : deux cycles itératifs	H.2.1 : représentation egocentrée	H.2.2 : contrastes tactiles
Centre Pompidou – cycle 1	X	X	X	X	
Centre Pompidou – cycle 2	X	X	X	X	
La Terre vue du Ciel – cycle 1	X	X	X		X
La Terre vue du Ciel – cycle 2		X	X		X

23

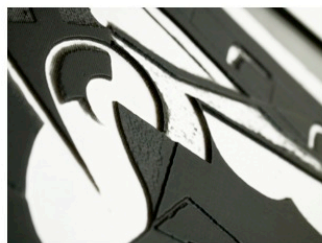
02 travail expérimental

Contexte des expérimentations 1 et 2 : le Centre Pompidou

01

02

03



Objectifs :

- > validation de la première sous-hypothèse de représentation : le format représenté de manière egocentrée
- > pré-modélisation de la démarche



Quelles
informations
écrire en
braille ?

24

02 travail expérimental

Expérimentation 1 : protocole pour évaluer la version 1

01

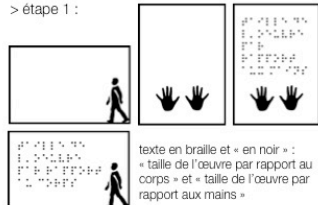
02

03



- > 5 personnes aveugles précoces
- > 5 personnes aveugles tardives
- > 10 personnes amblyopes
- > test pilote [Nielsen 93], entretiens individuels semi-dirigés [Brangier, Barcenilla 03]
- > à partir d'un guide d'entretien et 10 représentations intermédiaires
- > critères de lisibilité & de compréhension [Scapin, Bastien 97]

> étape 1 :



> étape 2 :



25

02 travail expérimental

Expérimentation 1 : résultats de l'évaluation de la version 1

01

02

03

- > les graphismes plutôt très lisibles tactilement (19/20 et 17/20)

- > le braille indispensable pour la compréhension (00/20)

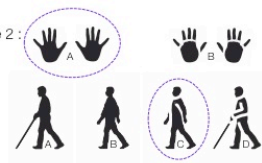
- > texte en braille insuffisant pour accéder à la compréhension (04/19 et 04/17)

- > propositions A et C les plus lisibles (18/20 et 15/20)

> étape 1 :



> étape 2 :



26

02 travail expérimental

Expérimentation 1 : conclusions sur l'évaluation de la version 1

01

02

03

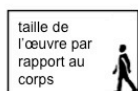
1. transfert de connaissances

2. concevoir des maquettes

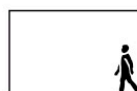
> échange d'idées

3. deux cycles itératifs de conception / évaluation

> version 1 pas suffisamment finalisée



texte modifié



Pour connaître le format réel de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension de la silhouette dessinée à votre gauche.

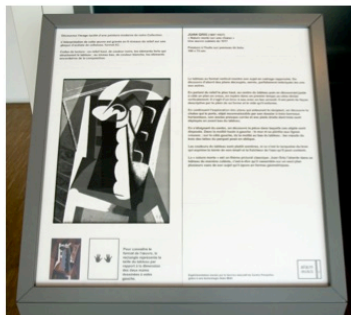
27

02 travail expérimental

Expérimentation 2 : protocole pour évaluer la version 2



- > 2 personnes aveugles précoces
- > 2 personnes aveugles tardives
- > 4 personnes amblyopes
- > entretiens individuels semi-dirigés d'1 heure
- > à partir d'un guide d'entretien et de deux représentations intermédiaires



Pour connaître le format réel de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension des deux mains dessinées à votre gauche.



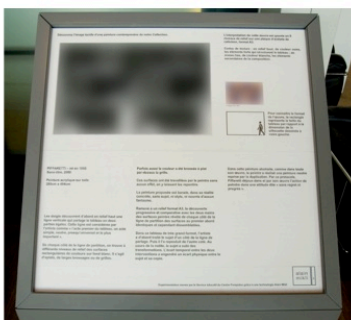
Pour connaître le format réel de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension de la silhouette dessinée à votre gauche.

28

02 travail expérimental

Expérimentation 2 : résultats de l'évaluation de la version 2

- > utilisé : 6/8
- > lisible sans explications : 15/16
- > compréhensible sans explications : 6/8
- > compréhensible avec explications : 8/8
- > utile : 6/8 « complémentaire »



Pour connaître le format réel de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension des deux mains dessinées à votre gauche.

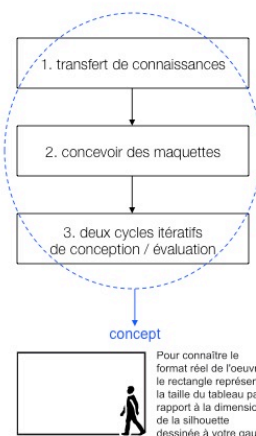


Pour connaître le format réel de l'œuvre, le rectangle représente la taille du tableau par rapport à la dimension de la silhouette dessinée à votre gauche.

29

02 travail expérimental

Expérimentations 1 et 2 : synthèse



> fonctionne car utile, compréhensible et lisible

> nécessaire pour communiquer, échanger et valider entre concepteur voyant et utilisateurs

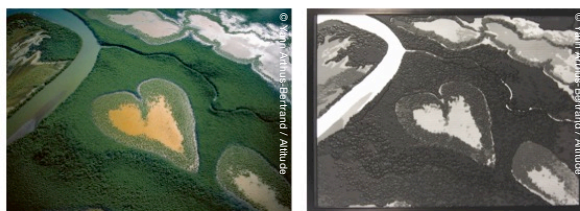
> progression dans les réponses correctes

> représentation egocentrée complémentaire aux données chiffrées

30

02 travail expérimental

Contexte des expérimentations 3 et 4 : La Terre vue du Ciel



Objectifs :

- > validation de la deuxième sous-hypothèse de représentation : les contrastes tactiles
- > modélisation de la démarche

01

02

03

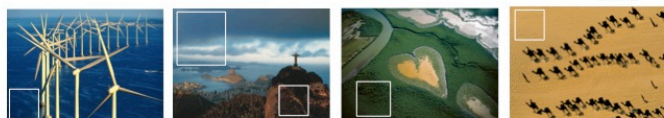
31

02 travail expérimental

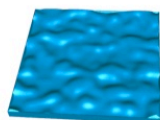
Expérimentation 3 : protocole pour le questionnaire



- > 8 personnes aveugles précoces
- > 8 personnes aveugles tardives
- > 16 personnes amblyopes
- > entretiens téléphoniques individuels d'1 heure
- > à partir d'un questionnaire construit en deux étapes



> étape 1 : questions ouvertes



> eau :

vagues (18)



> ciel :

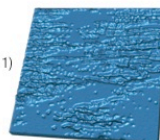
nuages (17)

> sable :

grains (13)

fins (13)

granuleux (11)



01

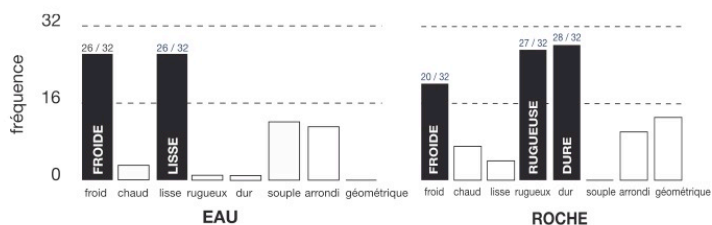
02

03

32

02 travail expérimental

Expérimentation 3 : résultats du questionnaire



01

02

03

33

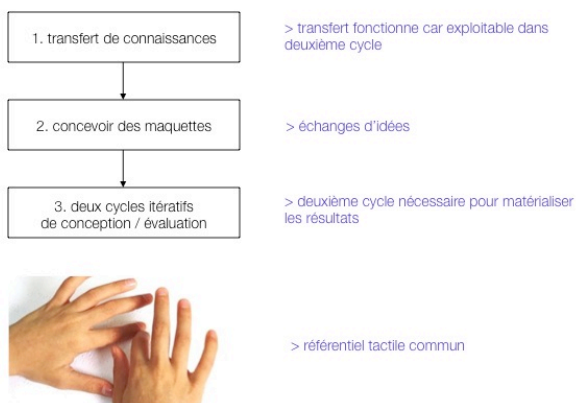
02 travail expérimental

Expérimentation 3 : conclusions du questionnaire

01

02

03



34

02 travail expérimental

Expérimentation 4 : protocole pour l'évaluation de 2 R.I.

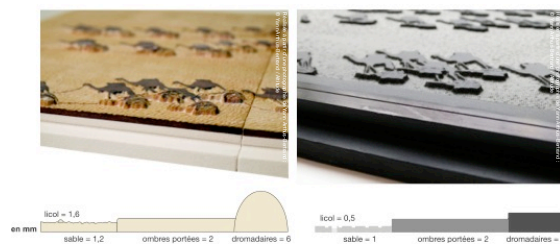
01

02

03



- > 3 personnes aveugles précoces
- > 3 personnes aveugles tardives
- > 6 personnes amblyopes
- > entretiens individuels semi-dirigés
- > à partir d'un guide d'entretien et de deux représentations intermédiaires tactiles



35

02 travail expérimental

Expérimentation 4 : résultats

01

02

03

- > lisibilité : 11/12
- > préférence :
impression 3D
11/12 « plus grands », « plus gonflés »,
« plus en relief », « plus hauts », etc.
- > utilité : 11/12
- > compréhension : 10/11
- > préférence :
usinage à commande numérique
01/12 « préfère le contact plus chaud de la matière. »



36

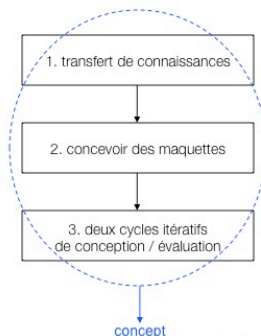
02 travail expérimental

Expérimentation 3 et 4 : synthèse

01

02

03



> résultats positifs de l'expérimentation 4

> nécessaire pour la communication, support d'évaluation

> complémentarité des 2 expérimentations



> pour concevoir une représentation tactile d'œuvre d'art, il est utile d'introduire des contrastes tactiles.

37

02 hypothèses et sous-hypothèses

Synthèse quant à leur validation

01

02

03

CONTEXTE EXPERIMENTATIONS	H.1 : MÉTHODOLOGIE ✓			H.2 : PRODUIT ✓	
	Étape 1 : transfert de connaissances	Étape 2 : maquettes tactiles	Étape 3 : deux cycles itératifs	H.2.1 : représentation egocentrée ✓	H.2.2 : contrastes tactiles ✓
Centre Pompidou - cycle 1		10 R.I.	insuffisant	lisible pas compréhensible	contrastes de textures et de formes
Centre Pompidou - cycle 2	egocentré	2 R.I.	satisfaisant	lisible compréhensible utile	
La Terre vue du Ciel - cycle 1	propriétés matérielles & procédures exploratoires	questionnaire / R.I.	exploitable		à matérialiser en R.I.
La Terre vue du Ciel - cycle 2		2 R.I.	satisfaisant		lisible utile compréhensible

38

Prise en compte de la perception tactile dans
la conception de représentations d'œuvres d'art
pour les personnes en situation de handicap visuel

partie 01 contexte et problématique

partie 02 travail expérimental

partie 03 apports et perspectives

> apports
> perspectives de recherche

39

03 apports

Synthèse des apports

01

02

03

apports de thèse : > modélisation d'une démarche de conception expérimentale en trois étapes

40

03 apports

Premier apport : la démarche de conception expérimentale

01

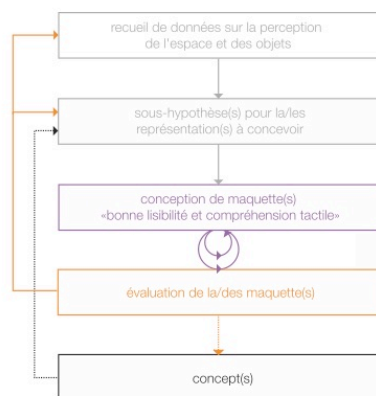
02

03

ÉTAPE 1 :
TRANSFERT DE
CONNAISSANCES

ÉTAPE 2 :
CONCEPTION
DE MAQUETTES

ÉTAPE 3 :
CYCLES ITÉRATIFS



41

03 apports

Synthèse des apports

01

02

03

apports de thèse : > modélisation d'une démarche de conception expérimentale en trois étapes

> proposition d'un concept relatif à l'explication du format réel d'une œuvre

42

03 apports

Deuxième apport : le format de l'œuvre

01

02

03



43

03 apports

Synthèse des apports

01

02

03

- apports de thèse :
- > modélisation d'une démarche de conception expérimentale en trois étapes
 - > proposition d'un concept relatif à l'explication du format réel d'une œuvre
 - > principe des contrastes tactiles à introduire dans les représentations

44

03 apports

Troisième apport : les contrastes tactiles de formes et de textures

01

02

03



45

03 apports

Synthèse des apports

01

02

03

apports de thèse : > modélisation d'une démarche de conception expérimentale en trois étapes

> proposition d'un concept relatif à l'explication du format réel d'une œuvre

> principe des contrastes tactiles à introduire dans les représentations

apport industriel : > mise au point du process de conception et de fabrication de représentations tactiles par prototypage rapide

46

03 apports

Quatrième apport : le process de conception et de fabrication

01

02

03



Figure d'ombres pour le musée du quai Branly

47

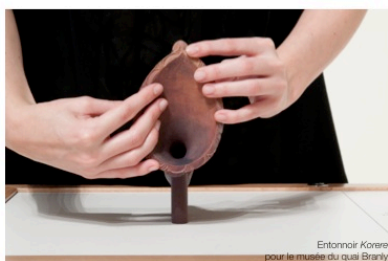
03 perspectives de recherche

Pistes de recherche

01

02

03



Entonnoir Korere pour le musée du quai Branly

1 > développement de la version 1 de la démarche proposée

2 > contrastes tactiles de dureté et de température à expérimenter

3 > poursuivre les entretiens semi-dirigés

4 > représentation tactile de la couleur

5 > représentations audio-tactile d'œuvres d'art

6 > recherches en sciences cognitives

7 > typologies de représentations intermédiaires

48

00 je vous remercie de votre attention
Avez-vous des questions ?



49

PRISE EN COMPTE DE LA PERCEPTION TACTILE DANS LA CONCEPTION DE REPRÉSENTATIONS D'ŒUVRES D'ART POUR LES PERSONNES EN SITUATION DE HANDICAP VISUEL

RÉSUMÉ : *Alors que le braille permet l'accès aux documents écrits, qu'en est-il de l'accès aux images pour les personnes aveugles et amblyopes ?*

Il s'agit de l'enjeu de notre projet de recherche réalisé en partenariat avec le groupe Alain Mikli International qui nous a chargé de concevoir et de développer des représentations tactiles d'œuvres d'art pictural et photographique. Parmi elles, les expositions itinérantes « Regards tactiles » conçues en 2001, suite à la rencontre entre des enfants aveugles et Yann Arthus-Bertrand. Cette initiative s'inscrit dans un contexte social et législatif qui souhaite valoriser l'autonomie des personnes en situation de handicap. Ainsi, en 2001, est apparu en France le label « Tourisme et Handicap » puis la loi du 11 février 2005, qui s'adressent notamment aux musées dans lesquels les visites audio et/ou tactiles proposées sont de plus en plus nombreuses même si les représentations tactiles présentées ne sont pas normalisées. Les démarches de conception universelle étudiées mettent en évidence que nos travaux de recherche se situent en amont de ces approches et que la démarche de conception à mettre en place doit intégrer la perception tactile notamment à l'aide de représentations intermédiaires. En effet, les utilisateurs en situation de handicap visuel ont des besoins spécifiques en raison de leurs capacités perceptives. Notre problématique de recherche, construite à partir de ces constats, consiste à s'interroger sur la manière de concevoir des représentations tactiles pour ces personnes et propose deux hypothèses de résolution : d'une part, formaliser ce champ de recherche par la modélisation d'une démarche expérimentale permettrait de générer des connaissances et, d'autre part, l'énoncé de deux concepts permettrait un apport de connaissances pour les concepteurs. Testées et validées dans le cadre de quatre expérimentations, nous avons modélisé une démarche de conception expérimentale en trois étapes : transfert de connaissances puis conception de maquettes « bonne lisibilité et compréhension tactile », et, enfin, planification de deux cycles itératifs de conception/d'évaluation. Nous avons élaboré deux concepts : le premier concerne le format réel de l'œuvre représentée de manière égocentrée et le second suggère d'introduire des contrastes tactiles parmi les éléments représentés en relief. Cette démarche et ces concepts constituent nos apports de thèse mis en œuvre dans le cadre de l'élaboration d'un parcours audio-tactile au musée du quai Branly.

MOTS-CLÉS : tactile ; représentations intermédiaires ; perception ; processus de conception

CONSIDERATION OF TACTILE PERCEPTION IN DESIGNING OF WORK OF ARTS REPRESENTATIONS FOR VISUALLY-IMPAIRED PEOPLE

ABSTRACT : *Braille allows the access to the written documents, but what about access to images for blind and partially-sighted people?*

This is the purpose of our research project in partnership with the Alain Mikli International group which assigned us to design and develop tactile representations of pictorial and photographic works of art. Among them, travelling exhibitions, called *Touch and See*, were designed in 2001. This happened after a meeting between blind children and Yann Arthus-Bertrand. This initiative is grounded in a social and legislative context that aims to improve the autonomy of disabled people. Consequently, in 2001, the « Tourisme et Handicap » and the « loi du 11 février 2005 » both appeared. This law is addressed to museums in which audio and/or tactile visits are proposed and becoming very popular. However, the tactile representations are still not standardized. Research on universal design approaches suggests that our work is positioned upstream from these processes. Moreover, our design process proposal must integrate tactile perception by using intermediate representations. Indeed, visually-impaired users have some specific needs because of their perceptual abilities. Our main research question is based on these remarks. We question the way in which tactile representations can be designed for these people by suggesting two hypotheses : on the one hand, we formalize this research field by modelling an experimental approach which allows us to generate knowledge and, on the other hand, we describe two product concepts that allow designers to achieve better knowledge of visually-impaired users. These concepts were tested and validated by four experiments. We have modeled an experimental design approach in three steps : transferring of knowledge, designing of « good tactile readability and understanding » models, and forward planning of two iterative cycles of design/assessment. We have elaborated two concepts : the first, concerns the real size of a painting represented in egocentered manner and the second concept suggests adding tactile contrasts which are among the elements represented in relief. This approach and the concepts constitute the contributions of this thesis which have been implemented during the design of an audio-tactile installation at the « musée du quai Branly » in Paris.

KEYWORDS : tactile ; intermediate representations ; perception ; design process

