



Université Paris Descartes

Ecole doctorale 261 « Cognition, Comportements, Conduites Humaines »

Laboratoire Adaptations, Travail, Individu

Conception universelle pour une signalétique intuitive et accessible à tous

Par **Andréa Boisadan**

Thèse de doctorat en Ergonomie

Dirigée par **Stéphanie Buisine**

Présentée et soutenue publiquement le 15 novembre 2018

Devant un jury composé de :

Jean-Claude Sagot, Professeur des Universités, Laboratoire ELLIADD, UTBM, Rapporteur
Guillaume Thomann, Maître de Conférences HDR, Laboratoire G-SCOP, Grenoble INP, Rapporteur
Valérie Gyselinck, Directrice de Recherche, LPC, IFSTAR, Examinatrice
Gérard Uzan, Ingénieur de Recherche, Laboratoire THIM, Université Paris 8, Examineur
Stéphanie Buisine, Enseignante Chercheure, LINEACT, CESI, Directrice
Yasmine Boumenir, Enseignante Chercheure, LINEACT, CESI, Co-directrice
Philippe Moreau, Président de Tactile Studio, Tuteur entreprise



Except where otherwise noted, this work is licensed under
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

Remerciements

La rédaction des remerciements vient clôturer ces trois années de thèse. Il est coutumier de remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation. Pour ma part, je remercierais dans ce présent manuscrit uniquement celles issues de mon environnement professionnel.

Je remercie Guillaume Thomann et Jean-Claude Sagot, rapporteurs de cette thèse, pour vos retours constructifs qui m'ont permis et aidé à approfondir ma réflexion et à aller plus loin dans mon raisonnement.

Je remercie Valérie Gyselinck, Présidente de mon jury et examinatrice pour ces questions et remarques pertinentes concernant tant le fond que la forme de mes travaux. Je remercie Gérard Uzan, second examinateur de cette thèse, non seulement pour nos échanges lors de la soutenance mais également pour tous ceux que nous avons pu avoir au cours de ces trois années.

Je remercie Stéphanie Buisine, directrice de cette thèse. Stéphanie, merci pour ton discernement, ta présence et ta confiance. Tu es le Graal des directeurs de thèse et je mesure la chance que j'ai eu de t'avoir en directrice.

Je remercie Yasmine Boumenir, co-directrice de cette thèse. Yasmine, tu as pris le train en route et je sais que cela n'a pas toujours été évident. Merci pour ton écoute et tes conseils avisés. Et n'oublions pas notre article !

Je remercie Philippe Moreau, Président de Tactile Studio, initiateur de ce projet. Tactile Studio est une aventure à part entière, ces trois années ont été riches en découverte. Philippe, tu m'as fait confiance et m'as laissé une grande autonomie.

Je remercie Todd Lubart, directeur du LATI ainsi que Sylvain Moutier, directeur l'Ecole Doctorale 261-3CH de l'Université Paris Descartes pour avoir soutenu ce projet de thèse.

Je remercie l'Agence Nationale de la Recherche Technologique qui a financé cette thèse.

Je remercie l'Association Valentin Haüy et son Président Pierre Ciolfi, pour avoir toujours répondu présent lors de nos sollicitations. A chaque test, j'en suis ressortie convaincue de la nécessité de rendre notre monde plus universel et accessible. Merci pour nos échanges.

Je remercie le Centre aéré de Pantin et son directeur Vincent Defer, pour avoir accepté de participer à nos expérimentations et de nous avoir accueilli au sein de leurs locaux. Merci à tous les enfants pour votre patience et votre grande implication lors des expérimentations.

Je remercie le musée de l'Homme de Paris et Aurélia Fleury pour avoir accepté que le musée soit l'un de nos terrains de recherche. Grâce à vous, nous avons pu conduire une étude en condition réelle et cela n'a pas de pris.

Je remercie Muriel et Milija, mes comparses doctorantes. Milija, toi aussi « You Did It », encore toutes mes félicitations. Muriel, tu es la prochaine ! Je suis de tout cœur avec toi et je te félicite de d'être lancée dans cette aventure.

Je remercie CESI Ile-de-France et son Directeur David Failly pour m'avoir embauchée à l'issue de ma thèse. Mon poste dépasse mes espérances.

Citation

« Comme Steve jobs avant lui, Musk est capable de penser à des choses que les consommateurs ne savent pas encore qu'ils désirent »

Ashlee Vance

Liste des figures

Figure 1 : en haut à gauche : reconstitution d'une statuette à partir d'un scan 3D ; en haut à droite : vis-à-vis relief détail, Mimi's ; en bas à gauche : Puy-de-Dôme, détail de la maquette grand contraste temple de Mercure ; en bas à droite : Marseille, MuCEM, objet didactique « La sphère armillaire ». (crédit photo : Tactile Studio).....	15
Figure 2 : Paris, Musée du Louvre, station tactile « Tête princière » du Département des arts de l'Islam (crédit photo : Grégoire Avenel pour Tactile Studio).	16
Figure 3 : Paris, Musée du Louvre, livret tactile de la Petite Galerie du Louvre (crédit photo : Tactile Studio). ..	16
Figure 4 : Boulogne-Billancourt, La Seine Musicale, plan d'orientation installé à l'accueil du bâtiment (crédit photo : Tactile Studio).....	17
Figure 5 : classification des cinq sens en fonction du degré d'importance (selon Enghels, 2005).	20
Figure 6 : atteinte de la vision centrale (de gauche à droite : cataracte, névrite optique, dégénérescence maculaire liée à l'âge).	21
Figure 7 : atteinte de la vision périphérique (à droite : rétinite pigmentaire ; à gauche : glaucome).	21
Figure 8 : atteinte simultanée des visions centrale et périphérique (de gauche à droite : cataracte, décollement de la rétine, forte myopie, homonyme, rétinopathie diabétique).....	22
Figure 9 : représentation d'un bus par un aveugle précoce (Boguslaw, 2000).	22
Figure 10 : récepteurs sensoriels de la peau (Segrond, 2008).	23
Figure 11 : procédures exploratoires (Lederman et Klatzky, 1987, 1991).	27
Figure 12 : dimension d'une cellule et espace entre plusieurs cellules (source: http://enfant-aveugle.com/spip.php?article12).	29
Figure 13 : modèle du Processus de Production du Handicap (PPH) (Fougeyrollas et al., 1999, source : http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24850/ch02.html).	34
Figure 14 : exemple d'abaissement de trottoir pour piétons et cyclistes à Strasbourg (source : http://transports.blog.lemonde.fr/2012/11/07/strasbourg-sanctionne-ses-cyclistes-pour-rassurer-ses-pietons/).....	35
Figure 15 : approches Top-down et Bottom-up.....	36
Figure 16 : les fiches pratiques illustrant les sept principes de conception universelle.	37
Figure 17 : dimensions de l'utilisabilité (ISO 9241-11, 1998) (d'après Février, 2011).....	39
Figure 18 : modélisation de l'utilisabilité selon Bengts (2004) comprenant les aspects affectifs, utilitaires et cognitifs.....	39
Figure 19 : modèle d'acceptabilité de Nielsen (d'après Lind, 2017).	40
Figure 20 : modèle d'acceptabilité selon Clarkson et al. (2003) (d'après Plos, 2011).	41
Figure 21 : maquettes démontables de la Fondation Louis Vuitton installées dans le hall du bâtiment (crédit photo : Tactile Studio).....	41
Figure 22 : carte pour l'apprentissage de la géographie.....	42
Figure 23 : boucle de connaissances de Keates et Clarkson (2003).	45
Figure 24 : plateforme MQB de Volkswagen : châssis unique aux différents modèles (Berlines courtes et longues, Coupés, Monospaces, SUV et Véhicules utilitaires).	46
Figure 25 : prototype du Smartphone modulaire du projet ARA de Google (source : https://www.nextinact.com/news/101227-projet-ara-google-cesse-developpement-son-smartphone-modulaire.html).	47
Figure 26 : table multifonction issue du projet « Adap'Table » (Plos, 2011 ; plos et al., 2012).....	48
Figure 27 : processus de conception CARATH.....	49
Figure 28 : les courants universalistes (d'après Dupin, 2007 cité par Plos et al. (2007), Plos, 2011).	51
Figure 29 : en haut les produits OXO présentés comme issus du design inclusif (http://www.inclusivedesign toolkit.com) en bas issus de la conception universelle (http://universaldesign.ie/).	52
Figure 30 : : à gauche : la Toyota Raum ; à droite : la salle de bain « Concept care » de Lapeyre.....	53
Figure 31 : les quatre domaines d'innovation (Manuel d'Oslo OCDE, 2005).	56
Figure 32 : innovation de produits (d'après OCDE, 1997).....	57
Figure 33 : la Swatch, une innovation de rupture.....	57
Figure 34 : iPad, une innovation de rupture d'usage.....	58

Figure 35 : à gauche : les chips Lays, une innovation incrémentale d'amélioration des produits ; à droite : la compagnie aérienne Hop !, une innovation incrémentale d'abaissement de coût.....	58
Figure 36 : stratégie d'innovation « Technology Drivers ».....	59
Figure 37 : stratégie d'innovation « Market Readers ».....	59
Figure 38 : stratégie d'innovation « Neek Seekers ».....	60
Figure 39 : articulation de l'ergonomie prospective entre les acquis de l'ergonomie de correction et de conception, l'hypercréativité et la prospective (d'après Brangier et Robert, 2015).....	60
Figure 40 : performance des 3 stratégies d'innovation selon les indicateurs de politique d'innovation, de business et stratégie, financier et de compréhension des besoins (Jaruselski et al. 2014).....	61
Figure 41 : stratégie d'innovation dominante en France, dans le monde et dans la Silicon Valley (Péladeau et al., 2013).	61
Figure 42 : courbe de diffusion d'une innovation (Rogers, 1995).....	63
Figure 43 : les six étapes de conception d'un persona (Jaouli, 2016).....	64
Figure 44 : exemple de fiche persona (source : https://blocnotes.iergo.fr/concevoir/modele-pour-la-creation-de-personas/).....	65
Figure 45 : représentation du Dilemme de l'innovateur (source: Osmotic Innovation, 2012).	67
Figure 46 : comparaison entre l'apparition de la zone du Dilemme de l'Innovateur vs la courbe de diffusion d'une innovation; (Christensen,1997-2016 ; Moore, 1991 ; Rogers, 1995) (source: Osmotic Innovation, 2012).	67
Figure 47 : modélisation de la conception centrée utilisateur (ISO 13407).....	70
Figure 48 : modèle de l'utilisateur extraordinaire.	71
Figure 49 : exemples de plans d'orientation conçus par Tactile Studio (de gauche à droite : Halle Pajol, Médiathèque Choisy-Le-Roi, bâtiment accueil du Parc de la Villette).	76
Figure 50 : à gauche : un plan visuotactile ; à droite : un plan d'orientation grand public avec écran tactile.....	77
Figure 51 : modèle du traitement de l'information (Thomas et Michel, 1994).	78
Figure 52 : exemples de monuments points de repère (de gauche à droite : la Tour Eiffel (Paris), Big Ben (Londres) et One World Trade Center (New-York).	79
Figure 53 : ensemble du dispositif.	83
Figure 54 : maquette en éclaté.	83
Figure 55 : légende de la maquette multimodale.	86
Figure 56 : niveau 0.	87
Figure 57 : niveau 1.	87
Figure 58 : niveau 2.	88
Figure 59 : niveau 3.	88
Figure 60 : niveau 4 (à gauche) et niveau 5 (à droite).....	89
Figure 61 : plan 2D du musée de l'Homme.	89
Figure 62 : exemples de dessins produits et de notes attribuées (dessin A = 1 pt ; dessin B = 2 pts ; dessin C = 3 pts ; dessin D = 4 pts ; dessin E = 5 pts).....	92
Figure 63 : moyenne du nombre total de détails rappelés (dessin et discours).	93
Figure 64 : nombre total d'inversions commises.	94
Figure 65 : nombre total de réussite à la tâche de description d'itinéraire.....	94
Figure 66 : exemples des multiples représentations graphiques du concept ascenseur (Unapei, 2012).	99
Figure 67 : dessin comportant les principales distances de séparation (Bris, 2004).	100
Figure 68 : fiche descriptive des pictogrammes de la norme ISO 7001 (d'après Schneider, 2014).	103
Figure 69 : de gauche à droite : simili, schéma, iconotype, pictogramme (d'après Darras, 1998).	104
Figure 70 : pictogrammes utilisés pour l'étude 2 (de gauche à droite : accès, ascenseur, escaliers, point information, vous êtes ici, toilettes) et déployés dans les quatre couleurs cibles (noir, bleu, vert et rouge). ...	114
Figure 71 : déroulement d'une séance de créativité.	117
Figure 72 : à gauche: groupe 1 en phase individuelle ; au centre : groupe enfants en phase collective ; à droite : groupe 2 en phase d'évaluation.....	119
Figure 73 : pictogrammes imprimés en 3D (de gauche à droite : vous êtes ici, point information, escaliers, accès, toilettes, ascenseurs).	124
Figure 74 : pictogrammes imprimés par injection UV (de gauche à droite : échelle, restaurant, rose des vents).	124
Figure 75 : nouveaux pictogrammes (de gauche à droite échelle, : vous êtes ici, escaliers , escaliers et accès).	125
Figure 76 : exemples de produits dont l'intuitivité est un argument de vente.....	129
Figure 77 : à gauche : approche selon Gibson, à droite : affordance selon Norman.	132

Figure 78 : schéma récapitulatif de la distinction intuition et interaction intuitive et le parallèle avec l'affordance.	133
Figure 79 : modèle Intui (Ullrich et Diefenbach (2010)).	134
Figure 80 : image illustrative du principe d'usage intuitif (source: https://www.pinterest.fr/pin/336573772124306458/).	137
Figure 81 : à gauche : tâche 1 : papier, à droite : tâche 2 : tablette tactile.	143
Figure 82 : modèle de dessin.	143
Figure 83 : procédure de l'expérimentation.	144
Figure 84 : matrice de corrélation du groupe Enfants.	147
Figure 85 : effet de l'ordre de passation sur l'item « amusant » (Q8).	148
Figure 86 : procédure de l'expérimentation.	151
Figure 87 : matrice de corrélation du groupe Adultes.	153
Figure 88 : évaluation moyenne du groupe adulte du sentiment de réflexion (Q1).	154
Figure 89 : évaluation moyenne du groupe adultes de la dimension sans effort (Q2 et Q3).	154
Figure 90 : évaluation moyenne du groupe adultes de la capacité à verbaliser (Q7).	155
Figure 91 : évaluation moyenne du groupe adultes de la dimension magique (Q4 et Q5).	155
Figure 92 : évaluation moyenne du groupe adultes de l'intuitivité (Q8).	156
Figure 93 : plan de situation (Projet Pavillon de l'Horloge du Louvre) (crédit photo: Tactile Studio).	168
Figure 94 : plan d'orientation visuo-audio-tactile (Projet Deutsches Museum) (crédit photo: Tactile Studio).	168
Figure 95 : plan d'orientation dynamique (Projet la Villette) (crédit photo : Tactile Studio).	169
Figure 96 : format du mobilier du plan d'orientation (crédit photo: Tactile Studio).	170
Figure 97 : exemple de séparation (Projet Familistère de Guise) (crédit photo : Tactile Studio).	171
Figure 98 : exemple de plan d'orientation avec légende intégrée en écriture noire et Braille (Projet Museum de Liverpool) (crédit photo : Tactile Studio).	172
Figure 99 : exemple de plan d'orientation avec légende intégrée avec bouton-poussoir (Projet BNF) (crédit photo : Tactile Studio).	172
Figure 100 : plan d'orientation extérieur avec des différents éléments de contraste (Projet de la Fondation Louis Vuitton) (crédit photo : Tactile Studio).	173
Figure 101 : plan d'orientation comprenant plusieurs niveaux de relief (Projet Espace Culturel La Passerelle) (crédit photo : Tactile Studio).	173
Figure 102 : plan d'orientation dynamique proposant des paramétrages pour l'audio) (Projet Médiathèque Aragon de Choisy-le-Roi) (crédit photo : Tactile Studio).	174
Figure 103 : encart proposant une vidéo en Langue des Signes Française (Projet Fondation Orange) (crédit photo : Tactile Studio).	174
Figure 104 : bouton-poussoir anti-vandalisme (source : https://www.lextronic.fr/boutons-poussoirs/3226-bouton-poussoir-plat-anti-vandal.html).	174
Figure 105 : dimension d'une cellule et espace entre plusieurs cellules (source: http://enfant-aveugle.com/spip.php?article/).	175
Figure 106 : critères d'acceptabilité fonctionnelle, sociale et d'accessibilité (Clarkson et al.(2003) d'après Plos (2011)).	178
Figure 107 : plan d'orientation CityTak).	178
Figure 108 : étapes envisagées d'un projet de recherche pour réinventer l'expérience d'orientation au sein d'ERP.	185

Liste des tableaux

Tableau 1 : catégorisation de la déficience visuelle selon l'OMS (d'après Baltenneck, 2010).....	21
Tableau 2 : mécanorécepteurs cutanés (*actifs au début du contact avec le stimulus ; **actif durant tout le contact avec le stimulus) (d'après Backends, n.d.; Gentaz, 2003 ; Hendry et Hsiao, 2008 ; Segron 2008).	24
Tableau 3 : tableau comparatif entre perceptions visuelle et tactile (Costes, Bassereau, Rodi et Aoussat, n.d).	25
Tableau 4 : les niveaux de lecture d'une planche (Bris, n.d).....	26
Tableau 5 : compatibilité entre les procédures exploratoires d'après Klatzky et Lederman (1991) (+ = compatible ; = incompatible).	28
Tableau 6 : comparaison des principes de conception universelle (1997) avec les heuristiques de Nielsen (1994) et les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993).	42
Tableau 7 : caractéristiques de l'échantillon de l'expérimentation 1.....	85
Tableau 8 : tableau récapitulatif du nombre d'informations comptabilisées par niveau.....	91
Tableau 9 : distances de séparation (Bris, 2004).	100
Tableau 10 : avantages et inconvénients de l'usage des pictogrammes selon Tijus et al. (2005).	104
Tableau 11 : concepts et signifiants adaptés aux capacités et représentations mentales des utilisateurs aveugles.	107
Tableau 12 : c caractéristiques de l'échantillon de l'étude 1 de l'expérimentation 2.	108
Tableau 13 : pourcentage d'identification des signifiants par les enfants et les adultes (vert : reconnus ; orange : moyennement reconnus ; rouge : non reconnus).	110
Tableau 14 : Interprétations des adultes et des enfants des pictogrammes qui n'ont pas été reconnus.	111
Tableau 15 : pourcentage de l'impact de la couleur sur l'interprétation de chaque pictogramme.	115
Tableau 16 : tableau recensant le nombre de propositions graphiques individuelles (Ind) et collectives (Coll) pour les 4 groupes : les 2 groupes contrôles (GA1 et GA2), le groupe enfants (GE) et le groupe de personnes déficientes visuelles (GDV).....	120
Tableau 17 : propositions graphiques pour chaque groupe et pictogramme.....	121
Tableau 18 : caractéristiques de l'échantillon du groupe Enfants.	142
Tableau 19 : conditions expérimentales groupe Enfants.	143
Tableau 20 : récapitulatif des items du questionnaire par dimension.....	145
Tableau 21 : caractéristiques de l'échantillon du groupe Adultes.	149
Tableau 22 : conditions expérimentales groupe Adultes.....	150
Tableau 23 : besoins concernant l'appréhension des plans d'orientation pour chaque catégorie d'utilisateurs et spécification des sens mobilisés.	166
Tableau 24 : récapitulatif des procédés de fabrication utilisés en fonction des matériaux et du type de plan d'orientation.	169
Tableau 25 : gamme de pictogrammes visuotactiles.	176
Tableau 26 : experts rencontrés.	179

Liste des annexes

Annexe 1 : questionnaire INTUI simplifié

Annexe 2 : liste des publications issues de la thèse

Table des matières

Partie 1 Introduction, état de l'art, problématique et hypothèses	13
Chapitre 1 Introduction générale.....	14
1.1. Contexte de la recherche	14
1.2. Présentation de Tactile Studio	15
1.3. Problématique et plan du manuscrit.....	17
Chapitre 2 Etat de l'art.....	20
2.1. La déficience visuelle	20
2.1.1. Définition de la déficience visuelle	20
2.1.2. Le toucher	23
2.1.3. Toucher et vision : quelle distinction ?	24
2.1.4. La lecture tactile	25
2.1.5. Le Braille.....	29
2.1.2. En conclusion.....	30
2.2. La Conception Universelle.....	31
2.2.1. Présentation de la Conception Universelle	31
2.2.1.1. Historique et définition	31
2.2.1.2. Concevoir « pour tous »	32
2.2.1.3. Les 7 principes de la conception universelle.....	36
2.2.2. La conception universelle, un atout pour l'ergonomie.....	38
2.2.3. La conception universelle comme démarche ergonomique	42
2.2.4. Les méthodes de conception	44
2.2.4.1 Les méthodes de co-création.....	44
2.2.4.2. La méthode EMFASIS.....	45
2.2.4.3. La méthode CARACTH.....	48
2.2.5. Les limites de la conception universelle.....	50
2.2.5.1. L'absence de recommandations précises.....	50
2.2.5.2. Une pluralité de courants universalistes.....	50
2.2.5.3. Conception universelle au service du handicap	52
2.2.6. En conclusion.....	53
2.3. L'innovation	55
2.3.1. Présentation de l'innovation	55
2.3.1.1. Historique et définition	55
2.3.1.2. Stratégies d'innovation.....	58
2.3.2. Les méthodes.....	62
2.3.2.1. Les méthodes d'open innovation et de co-création	62
2.3.2.2. La méthode des « lead users »	62
2.3.2.3. La méthode des « persona ».....	63
2.3.3. Les limites de l'innovation par les usages	66
2.3.3.1. Innovation de produits adaptés vs grand public	66
2.3.3.2. Le Dilemme de l'Innovateur	66
2.3.4. En conclusion.....	68

Chapitre 3 Problématique et hypothèses.....	69
Partie 2 Expérimentations	75
Chapitre 4 Représentation mentale de l'espace.....	76
4.1. Contexte de l'expérimentation.....	76
4.2. Etat de l'art.....	77
4.2.1. Traitement de l'information.....	77
4.2.2. La cognition spatiale.....	78
4.2.3. La cognition spatiale chez les personnes déficientes visuelles.....	80
4.2.4. Les plans d'orientation	81
4.3. Pré-étude.....	84
4.4. Hypothèse.....	84
4.5. Etude.....	85
4.5.1. Méthodologie.....	85
4.5.2. Résultats	91
4.6. Discussion.....	95
4.7. Conclusions et perspectives	97
Chapitre 5 Conception d'une gamme de pictogrammes visuotactiles universels	99
5.1. Contexte de l'expérimentation.....	99
5.2. Etat de l'art.....	100
5.3. Présentation des trois études.....	106
5.3.1. Etude 1 : enquête initiale	106
5.3.1.1. Méthodologie	107
5.3.1.2. Résultats	109
5.3.1.3. Discussion	113
5.3.2. Etude 2 : influence de la couleur.....	113
5.3.2.1. Méthodologie	114
5.3.2.2. Résultats	114
5.3.2.3. Discussion	115
5.3.3. Etude 3 : conception de nouveaux pictogrammes.....	115
5.3.3.1. Méthodologie	116
5.3.3.2. Résultats	119
5.3.3.3. Conception des nouveaux pictogrammes	124
5.3.4. Discussion	125
Chapitre 6 Questionnaire d'intuitivité	128
6.1. Contexte de l'expérimentation.....	128
6.2. Etat de l'art.....	128
6.2.1. Définition.....	129
6.2.1.1. Interaction intuitive	129
6.2.1.2. Affordance	131

6.2.2. Modèle d'intuitivité.....	133
5.2.3. Le questionnaire d'intuitivité.....	135
6.2.4. Intuitivité et conception universelle.....	136
6.2.5. En conclusion.....	137
6.3. Pré-étude.....	137
6.4. Etude.....	139
6.4.1. Reconception du questionnaire INTUI.....	139
6.4.2. Méthodologie.....	142
6.4.2.1. Méthode groupe Enfants.....	142
6.4.2.2. Résultats groupe Enfants.....	145
6.4.2.3. Discussion groupe Enfants.....	148
6.4.2.4. Méthode groupe Adultes.....	149
6.4.2.5. Résultats groupe Adultes.....	152
6.4.2.6. Discussion groupe Adultes.....	156
6.5. Discussion.....	157
Partie 3 Apports, conclusions et perspectives.....	159
Chapitre 7 Contribution applicative de la thèse.....	160
Chapitre 8 Conclusions et perspectives.....	182
8.1. Apport pour Tactile Studio.....	182
8.2. Validation de nos hypothèses.....	182
8.3. Perspectives de recherche.....	184
8.3.1. Les plans d'orientation.....	184
8.3.2. Le modèle de l'utilisateur extraordinaire.....	186
Bibliographie.....	188
Annexes.....	205

Partie 1

Introduction, état de l'art, problématique et hypothèses

Chapitre 1

Introduction générale

1.1. Contexte de la recherche

Quel est le premier réflexe d'une personne visitant un établissement inconnu ? Regarder un plan d'orientation ou demander son chemin. Cette action peut être relativement rapide pour un usager sans déficit particulier. Mais qu'en est-il pour une personne atteinte d'un déficit visuel ? Une personne étrangère ne parlant pas la langue du pays ? Ou encore un enfant ne sachant pas encore lire ? Notre recherche tend à apporter une solution à ces publics qui, parfois, peuvent se retrouver démunis voire paniqués dans une telle situation.

La démarche sous-jacente à notre projet est la **conception universelle** dont l'objectif est de « concevoir des produits et des environnements qui peuvent être utilisés par tous, dans toute la mesure du possible, sans nécessité d'adaptation ou de conception spécifique » (Story et al., 1998), en d'autres termes, il s'agit de rendre les produits accessibles aux personnes en situation de handicap, mais également de les rendre plus intuitifs et faciles d'utilisation pour tous : les utilisateurs dits « valides », c'est-à-dire sans déficience connue, les seniors, les enfants, les touristes ne parlant pas la langue du pays, etc. Alors que la conception universelle a longtemps été perçue comme peu rentable économiquement car visant des marchés de niche, l'objectif de la thèse est d'utiliser cette démarche comme une stratégie d'innovation à destination des marchés de masse.

En outre, le secteur applicatif de la signalétique, et, plus particulièrement de la conception de plans d'orientation correspond à un besoin de grande actualité, il est en cohérence avec l'évolution des attentes de la société et des exigences légales. En effet, il s'inscrit dans le cadre de l'application de la Loi n°2005-12 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation à la citoyenneté des personnes handicapées. Depuis 2015, les Etablissements Recevant du Public¹ (ERP) doivent offrir un accès à l'information à tout public incluant dès lors ceux atteints de handicap.

Ainsi, dans l'esprit de la conception universelle et de la loi, nous souhaitons proposer des recommandations permettant de concevoir des plans d'orientation utilisables et compréhensibles par des personnes en situation de handicap (différents types de handicap dont la déficience visuelle), des enfants, des personnes âgées, des étrangers ne parlant / lisant pas la langue et par des personnes « valides » sans déficience connue. Parmi tous ces profils d'utilisateurs, les déficients visuels apportent un défi particulier car le domaine de la signalétique

¹ Le terme d'Établissement recevant du Public est défini par l'article R133-2 du Code de la construction et de l'habitation et désigne les lieux publics ou privés accueillant des clients ou des utilisateurs autres que les employés, sont concernés un large nombre d'établissements tels que les cinémas, les théâtres, les musées, les universités, les bibliothèques, les hôpitaux, les restaurants, les gares, les lieux de cultes que ces structures soient fixes ou provisoires. Les ERP sont soumis par l'article L.111-8-3 du CCH à la délivrance d'une attestation de l'établissement à la réglementation d'accessibilité, délivrée par le contrôleur des travaux.

et des plans d'orientation est particulièrement ancré dans une approche et des représentations « visuelles ».

Concevoir un plan d'orientation accessible aux déficients visuels nécessite donc une connaissance approfondie à la fois du domaine et des caractéristiques de cette population ; c'est pour cela que la thèse s'est déroulée en contrat CIFRE avec la société Tactile Studio qui possède une telle expertise.

1.2. Présentation de Tactile Studio

Fondée en 2009, Tactile Studio est une TPE comprenant 15 salariés répartis en France, en Allemagne, en Italie, en Angleterre et au Canada. Elle est spécialisée dans le développement de plans d'orientation et de stations pédagogiques accessibles à tous et notamment aux déficients visuels. Ces produits sont proposés aux grands comptes, aux collectivités, aux institutions muséales et culturelles et plus largement aux Établissements Recevant du Public (ERP).

Depuis sa création, l'entreprise s'inscrit dans une démarche universaliste et sociale, dans la mesure où ses produits sont des supports de médiation favorisant l'entraide et le partage de connaissances entre les usagers. Cette démarche est également novatrice puisqu'elle considère que les inventions destinées originellement aux minorités peuvent devenir de grandes innovations (Buisine et al., 2011b ; Plos et al., 2012). L'activité de Tactile Studio repose sur quatre axes :

1. Conception graphique, tout support, adaptée aux publics en situation de handicap (Figure 1).

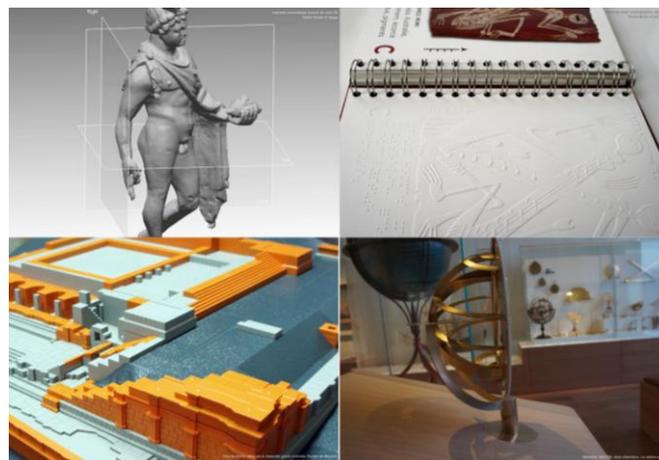


Figure 1 : en haut à gauche : reconstitution d'une statuette à partir d'un scan 3D ; en haut à droite : vis-à-vis relief détail, Mimi's ; en bas à gauche : Puy-de-Dôme, détail de la maquette grand contraste temple de Mercure ; en bas à droite : Marseille, MuCEM, objet didactique « La sphère armillaire » (crédit photo : Tactile Studio).

2. Fabrication d'objets de médiation et de cartels explicatifs en relief pour les déficients visuels (Figure 2).



Figure 2 : Paris, Musée du Louvre, station tactile « Tête princière » du Département des arts de l'Islam (crédit photo : Grégoire Avenel pour Tactile Studio).

3. Edition de livrets tactiles (Figure 3).



Figure 3 : Paris, Musée du Louvre, livret tactile de la Petite Galerie du Louvre (crédit photo : Tactile Studio).

4. Fabrication de plans d'orientation tout public associant le relief, l'image, le son voire le multimédia. **La thèse s'inscrit dans cet axe** (Figure 4). Tactile Studio souhaitait d'une part, capitaliser les connaissances et les savoir-faire de son équipe et d'autre part, développer une gamme de pictogrammes visuotactiles universels à déployer sur les plans d'orientation.



Figure 4 : Boulogne-Billancourt, La Seine Musicale, plan d'orientation installé à l'accueil du bâtiment (crédit photo : Tactile Studio).

1.3. Problématique et plan du manuscrit

Après cette introduction générale, le **Chapitre 2** sera consacré à l'état de l'art, qui portera sur les trois domaines encadrant notre recherche, à savoir : la déficience visuelle, la conception universelle et l'innovation.

Cette analyse de la littérature et des produits existants nous amènera à un triple constat sur la conception universelle :

1. Elle est parfois perçue comme difficile d'application voire utopique (Singh et Tandon, 2016 ; Bady, 2016 ; Mustaquim, 2017).
2. Les industriels se la représentent comme centrée uniquement sur les personnes en situation de handicap et donc potentiellement non rentable.
3. Bien que la littérature avance que les produits universels peuvent aussi améliorer l'intuitivité et augmenter la performance des publics valides, à notre connaissance, cela n'a pas été démontré.

Dans le **Chapitre 3** nous poserons la problématique et les hypothèses issues des limites identifiées dans l'état de l'art. Notre problématique est la suivante :

Comment utiliser la conception universelle comme source d'innovation ?

Pour y répondre, nous proposons tout d'abord un **modèle théorique intitulé « l'utilisateur extraordinaire » (Hypothèse H1).**

Nous avons formalisé un modèle d'innovation inspiré de la conception universelle, afin d'aboutir à des innovations radicales d'usage ou des innovations incrémentales centrées sur l'intuitivité des produits. Ce modèle consiste à impliquer dans la conception des utilisateurs que nous appelons « extraordinaires » avec des besoins particuliers, et à nous concentrer volontairement sur ces derniers même s'ils ne représentent pas la majorité des utilisateurs du produit. Par exemple, lors de la conception d'un produit destiné à des adultes, si les concepteurs font en sorte qu'il soit utilisable par des enfants (prenant en compte, selon leur âge, un niveau de lecture, de compréhension, une taille et une force physique inférieurs à ceux des adultes) cela devrait permettre d'aboutir à de nouvelles fonctions et/ou à un produit

plus simple (moins complexe à comprendre, plus facile à manipuler), donc potentiellement plus intuitif pour des adultes. De même, si ce produit est conçu selon les capacités des seniors (prenant en compte une baisse de la vue, de l'audition, de la dextérité, des fonctions cognitives, etc.), il devrait aussi être plus intuitif pour un public tout venant.

Dans notre recherche, les populations « extraordinaires » auxquelles nous nous sommes particulièrement intéressés sont les enfants et les personnes atteintes de déficience visuelle, et les interventions ont été orientées vers l'innovation incrémentale et l'intuitivité. Les trois expérimentations menées s'inscrivent toutes dans l'hypothèse H2 suivante :

Hypothèse H2 : un produit conçu pour des utilisateurs extraordinaires est une innovation pour tous.

Cette hypothèse relativement classique en conception universelle est cependant peu étayée de données expérimentales objectives. Notre but est de contribuer à fonder scientifiquement ce bénéfice apporté par la conception universelle. Pour cela nous avons conduit trois expérimentations appliquées aux produits de Tactile Studio.

Le **Chapitre 4** décrit la première expérimentation. Celle-ci a porté sur le plan d'orientation installé au Musée de l'Homme à Paris, conçu initialement pour répondre aux besoins des personnes non- et malvoyantes. Afin d'analyser l'impact de ce plan 3D sur la construction de la représentation mentale de l'espace pour les visiteurs du musée, nous avons comparé son utilisation avec un plan d'orientation 2D classique. Quarante-et-un visiteurs valides ont participé. Les résultats montrent que la mémorisation des détails est meilleure en 2D mais que l'identification d'itinéraires et la représentation des espaces sont meilleures avec le plan 3D.

La seconde expérimentation (**Chapitre 5**) est constituée d'une série d'études ayant impliqué en tout 427 participants (adultes et enfants, avec et sans déficience visuelle), afin de concevoir une gamme de pictogrammes visuotactiles universels. La démarche s'est appuyée sur : 1) l'évaluation, auprès d'adultes et d'enfants sans déficience visuelle, d'une base de pictogrammes conçus pour les personnes aveugles ; 2) une étude complémentaire sur l'influence de la couleur sur l'interprétation de certains pictogrammes visuels et 3) des ateliers de créativité avec des adultes sans déficience visuelle, des enfants sans déficience visuelle et des adultes non- et malvoyants.

La dernière expérimentation (**Chapitre 6**) a porté sur la conception et validation d'un outil de mesure de l'intuitivité. L'utilisation d'une échelle existante (INTUI) appliquée à nos produits (ex : plan d'orientation de La Villette), s'est avérée inadaptée, en particulier pour les enfants. Nous avons reconçu l'outil pour qu'il soit adapté aux capacités d'enfants de 6 ans puis nous l'avons évalué auprès de 30 enfants et 28 adultes avec des produits numériques et non numériques.

Dans le **Chapitre 7**, nous présentons au lecteur un Livre Blanc dans lequel nous proposons un ensemble de recommandations permettant de concevoir des plans d'orientation pour tous. Elles sont issues des connaissances capitalisées lors des trois années de thèse à la fois auprès de Tactile Studio, sur la base d'entretiens menés avec des clients et experts, de tests utilisateurs ainsi que de la veille bibliographique et concurrentielle.

Enfin, dans le **Chapitre 8** nous concluons et précisons les futures perspectives de recherche portant, notamment, sur l'inclusion des dimensions culturelles et émotionnelles, ainsi que la poursuite des travaux avec une visée d'innovation radicale afin de déployer tout le potentiel de notre modèle.

Chapitre 2

Etat de l'art

Cette recherche, qui porte sur l'innovation à partir des besoins spécifiques d'utilisateurs porteurs de déficience visuelle, requiert une expertise dans trois domaines différents : la déficience visuelle, la conception universelle et l'innovation. L'objectif de ce chapitre est de dresser un état de l'art croisé de ces trois domaines.

2.1. La déficience visuelle

Nous présenterons tout d'abord la problématique de la déficience visuelle afin de permettre au lecteur de saisir la complexité et les répercussions de la privation de la vue. La vision et l'audition sont les modalités sensorielles les plus performantes pour permettre à l'homme (et à l'animal) d'appréhender et d'interagir avec le monde. En effet, la vue est la première source objective de réception d'informations (Viberg, 1984 cité par Enghels, 2005) (Figure 5), nos yeux recueillant 60% des informations émises par notre environnement (Enghels, 2005).

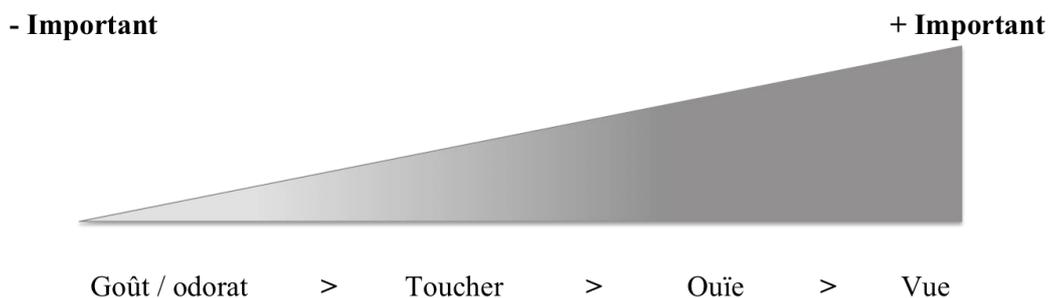


Figure 5 : classification des cinq sens en fonction du degré d'importance (selon Enghels, 2005).

2.1.1. Définition de la déficience visuelle

En 2017, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) évaluait à 253 millions le nombre de déficients visuels dans le monde dont 36 millions atteints de cécité. En France, les dernières données officielles datent de 2005, le nombre de déficients visuels était estimé à 1,5 millions soit 2,9% de la population.

De la malvoyance à la non-voyance, l'expression « déficience visuelle » désigne « l'altération plus ou moins prononcée du champ de vision et de l'acuité visuelle » (loi n°2005-102 du 11 février 2005). Diverses pathologies génèrent un état de malvoyance, citons par exemple la myopie non ou mal corrigée, ainsi que la perte de vision au fil des années liée au vieillissement et/ou au développement de certaines maladies telles que la cataracte, le glaucome, le diabète sans oublier les facteurs accidentels.

Le degré de déficience visuelle est mesuré selon deux critères : 1) la mesure de l'acuité visuelle qui correspond à la capacité de l'œil (le meilleur après correction) à distinguer les détails, et 2) l'état du champ visuel qui correspond à la portion de l'espace perceptible par un œil fixe. A notre connaissance, la classification usuellement utilisée est celle de l'OMS (Tableau 1).

Tableau 1 : catégorisation de la déficience visuelle selon l'OMS (d'après Baltenneck, 2010).

Catégories	Signification	Après correction			Déficience
		Acuité visuelle		Champs visuel	
		Min	Max		
I	Perte partielle de la vision	1/10	3/10	<20°	Malvoyance
II	Malvoyance socialement invalidante	1/20	1/10	/	
III	Capacité de compter les doigts à un mètre	1/50	1/20	Entre 5° et 10°	Cécité
IV	Quasi cécité	Perception lumineuse	1/50	<5°	
V	Cécité totale (amaurose)	Absence de perception visuelle			

Les conséquences sont aussi multiples que les causes, nous pouvons les catégoriser selon qu'elles affectent la vision centrale (précision), la vision périphérique (déplacement) ou les deux.

Les figures 6, 7, 8 représentent les principaux troubles².



Figure 6 : atteinte de la vision centrale (de gauche à droite : cataracte, névrite optique, dégénérescence maculaire liée à l'âge).



Figure 7 : atteinte de la vision périphérique (à droite : rétinite pigmentaire ; à gauche : glaucome).

² Source : <http://www.braille.be/fr/documentation/pathologies-visuelles>



Figure 8 : atteinte simultanée des visions centrale et périphérique (de gauche à droite : cataracte, décollement de la rétine, forte myopie, homonymie, rétinopathie diabétique).

Une autre typologie de malvoyance est l'atteinte de la vision des couleurs : les dyschromatopsies (Roudinsky et Biancussi, 2008), qui peuvent être héréditaires ou acquises. Les dyschromatopsies héréditaires sont par exemple le daltonisme (absence de perception des couleurs ou indifférenciation de certaines teintes ou couleurs). Les dyschromatopsies acquises sont inhérentes à une altération des cônes, des voies optiques (macula ou faisceau maculaire) ou du cortex visuel. Les personnes souffrent d'une vision colorée plus fade voire d'une perte de la perception des couleurs. Enfin, certaines chromatopsies sont un phénomène hallucinatoire coloré comme par exemple les taches blanches qui peuvent survenir après un éblouissement.

Les causes de la cécité peuvent être génétique, congénitale, périnatale ou accidentelle (Dufier, 1996). L'âge d'apparition est un facteur déterminant, nous distinguons les aveugles de naissance (congénital) ou précoces (voyants jusqu'à 3 mois) et ceux tardifs. Les personnes aveugles de naissance ne possèdent ni culture visuelle ni références minimales, par conséquent elles se créent leurs propres représentations mentales divergentes de celles des voyants (Brock, 2013), le meilleur exemple est celui de la représentation graphique d'un bus londonien par un aveugle congénital âgé de 5 ans (Figure 9), en effet il le représente par trois lignes : deux horizontales (la marche puis l'assise) et une verticale (la rampe).



Figure 9 : représentation d'un bus par un aveugle précoce (Boguslaw, 2000).

Les aveugles tardifs (après 3 ans) profitent d'une expérience visuelle passée favorisant le développement de modes de représentation comparables aux voyants et le partage de références communes. Par ailleurs, ils n'éprouvent pas de difficultés cognitives de spatialité car ils possèdent des coordinations précoces entre les modalités perceptives (Hatwell, 2003) contrairement aux aveugles de naissance qui, par exemple, ne comprennent pas les effets de perspective.

Privées de la vue, les personnes vont utiliser le toucher pour interagir avec l'environnement. Dans la partie suivante nous en présenterons les caractéristiques physiques et la manière dont ce sens est mobilisé.

2.1.2. Le toucher

Chez les personnes non-voyantes, le toucher est la modalité perceptive la plus à même de suppléer une vision défaillante (Hatwell, 2003). L'auteur ajoute « qu'il s'agit d'une modalité spatiale qui, sous certaines conditions, peut informer sur presque toutes les propriétés des objets auxquelles accède la vision [...] à l'exception de la couleur, spécifique à la vision » (Hatwell, 2003, p.12).

Quelles sont les propriétés de ce sens ? Pourquoi utilisons-nous nos mains ? Pouvons-nous tout percevoir par le toucher ? En tant que concepteurs, il est essentiel de connaître les modalités de la perception tactile pour concevoir des produits adaptés aux capacités des personnes non- et malvoyantes. La perception tactile qui « résulte de la stimulation de la peau provenant des mouvements actifs d'exploration de la main entrant en contact avec des objets » (Gentaz, 2003).

La peau est constituée de trois couches : l'épiderme (couche superficielle), le derme et l'hypoderme (couche profonde) (Figure 10) dans lesquelles se répartissent divers récepteurs cutanés impliqués dans la perception tactile.

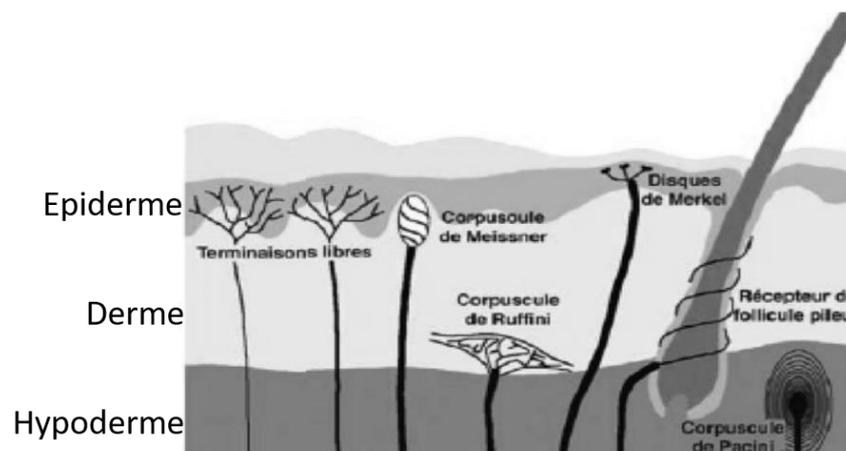
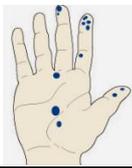
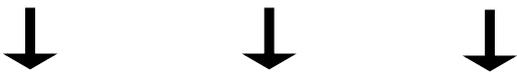


Figure 10 : récepteurs sensoriels de la peau (Segron, 2008).

Ces mécanorécepteurs sont au nombre de quatre : les Corpuscules de Meissner, de Pacini et de Ruffini ainsi que les récepteurs de Merkel, ils sont répertoriés selon leurs propriétés d'adaptation (rapide ou lente) et les caractéristiques des champs récepteurs (réduits - délimités ou larges - flous) (Gentaz, 2003) (Tableau 2).

Lefèvre-Belleydier, Gentaz et Spicher (2008) expliquent que les disques de Merkel et les corpuscules de Meissner sont abondants aux extrémités des doigts ; le champ de récepteurs est de 1 à 2 mm pour le bout des doigts et de 5 à 10 mm sur la paume de la main. Or comme l'expliquent les auteurs, « plus le champ de récepteurs est petit, meilleure en est la discrimination tactile », en d'autres termes le fait que sur le bout des doigts le diamètre soit petit et les récepteurs plus condensés, augmente la sensibilité. Cela explique pourquoi l'extrémité des doigts (principalement les pouces et index) est l'une des régions la plus sensible (Bris, n.d.).

Tableau 2 : mécanorécepteurs cutanés (*actifs au début du contact avec le stimulus ; **actif durant tout le contact avec le stimulus) (d'après Backends, n.d; Gentaz, 2003 ; Hendry et Hsiao, 2008 ; Segron 2008).

	Corpuscules de Meissner	Récepteurs de Merkel	Corpuscules de Pacini	Corpuscules de Ruffini
Localisation				
Profondeur (mm)	0,3	0,5	2	1
Adaptation	Rapide*	Lente**	Rapide*	Lente**
Champs récepteurs	Réduits et délimités		Etendus et limites floues	
Rôle dans la perception	Battement Mouvement	Pression Forme Texture	Vibration	Inconnu, <i>probabilité étirement de la peau</i>
 Implication directe sur la perception tactile				

Comme pour la vision, deux critères définissent la perception tactile : l'acuité tactile (seuil de discrimination spatiale, c'est-à-dire capacité à discriminer deux stimulations) et le champ perceptif (zone de perception des stimuli). Ce dernier est limité en distance et en étendue comparé à celui de la vision et de l'audition (Schwartz, 2001) pour lesquels la distance de perception d'un stimulus est élevée (Enghels, 2005). En effet, pour voir ou entendre, l'individu n'est pas obligé d'être à proximité alors que la perception tactile implique au contraire de toucher pour percevoir.

2.1.3. Toucher et vision : quelle distinction ?

L'acquisition d'informations diffère entre le toucher et la vision. Pour un concepteur graphique, connaître ces différences l'aide dans sa réflexion sur la manière dont il va retranscrire les informations visuelles, par exemple, savoir qu'une image tactile se construit de manière séquentielle et non globale aura pour impact de ne pas surcharger en informations un plan d'orientation. Costes, Bassereau, Rodi et Aoussat (n.d.) ont élaboré un tableau comparatif des perceptions visuelles et tactiles à partir de plusieurs publications (Tableau 3).

Tableau 3 : tableau comparatif entre perceptions visuelle et tactile (Costes, Bassereau, Rodi et Aoussat, n.d).

Voyant – perception visuelle	Non-voyant – perception tactile	Auteurs
- Reconnaissance visuelle d'objets complexes rapide Chaque composante d'un objet est perçue simultanément	- Appréhension séquentielle de l'environnement - «Ce qui saute aux yeux ne saute pas aux mains»	Bruyer (2000) (cité par Costes et al., n.d.) ; Hatwell (2003) ; Hatwell, Streri et Gentaz (2003) ; Gentaz et Hatwell (2000)
Les objets sont majoritairement représentés visuellement	Images mentales construites à partir d'une information tactile originale	Richard, Vaz-Cerniglia, Portalier (2004) ; Cornoldi et Vecchi (2000)
Les propriétés spatiales sont plus dominantes lors d'une exploration visuelle	Propriétés matérielles telles que la texture, dureté et la température constituent des éléments clefs dans l'identification haptique	Klatzky, Susan et Lederman (2000) ; Hatwell (2003)
Champ périphérique (visuel perceptif)	Petitesse du champ perceptif tactile	Hatwell, Streri et Gentaz (2003)
Représentation spatiale allocentrée	Représentation spatiale mentale égocentrée	Hatwell, Streri et Gentaz (2003)

Le champ perceptif tactile est extrêmement réduit par rapport à celui visuel (Brock, et al., 2010), effectivement le premier s'élabore à partir d'informations succinctes et fragmentées alors que le second permet de percevoir simultanément et très rapidement les objets composant l'environnement et les objets eux-mêmes (Cattaneo et Vecchi, 2011). Dès lors, le toucher se différencie de la vue de par son caractère séquentiel (Hatwell, 2003 ; Gual et al., 2011) permettant, par étapes successives, une construction mentale basée sur des données tactiles (Cornoldi et Vecchi, 2000) telles que la texture, la dureté et la température (éléments d'identification tactile). Ainsi l'exploration d'un objet est faite de mouvements et contacts successifs permettant la découverte des propriétés géométriques. L'individu se reconstruit mentalement sa forme grâce à l'appréhension des volumes limités par des surfaces et des arêtes et orientés par des angles. Le non voyant doit adapter et affiner son système perceptif et améliorer ses stratégies de palpation (Klatzky et al., 1993).

2.1.4. La lecture tactile

La découverte d'une image repose sur trois niveaux d'opérations (Bris, 2004 ; Scwhartz, 2001) : (1) les capacités du canal sensoriel à discriminer les variables significatives portées par le support matériel de l'image (lecture globale), dès lors (2) sont extraites les informations topologiques relatives à la localisation des formes ainsi que les informations géométriques issues de l'extraction des contours (lecture « suivie ») (3) puis une construction mentale de l'image en explorant détail par détail (déchiffrage graphique) (Tableau 4). Il est essentiel de tenir compte de ces trois niveaux lors de la production d'un support en relief.

Tableau 4 : les trois niveaux de lecture d'une planche (Bris, n.d).

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
	Lecture globale	Lecture « suivie »	Déchiffrage graphique
Objectif exploratoire	situer les différents blocs informationnels	- assujetti au premier niveau mais orienté recherche de sens - détail incitant exploration contextuelle	- construction mentale - comparaison aux codes / connaissances antérieures du lecteur
Disposition des mains	- usage simultané des deux mains - usage de tous les doigts - balayage	- mains plus verticales - doigts plus serrés - index pour une lecture précise et les autres doigts - perception périphérique du contexte	usage uniquement des deux index : l'un sert de point fixe pendant que l'autre explore le contexte proche
Sens de lecture	début en haut à gauche puis descente vers le bas à droite	centré sur des zones (exploration de contexte à partir de détail pour faire sens)	utilisé pour découvrir un élément complexe ou inconnu
Empan tactile³	l'empan qui sépare deux poses de mains correspond un peu moins à la largeur d'une main	moyen (limité à une zone)	petit (détail)

³ L'empan tactile correspond à la surface de la main posée à plat

Lederman et Klatzky (1993) décomposent la stratégie d'exploration en deux phases successives :

1. Les procédures généralisées : mobilisation des mains dans leur globalité apportant des informations peu précises sur diverses propriétés fournissant une connaissance globale de l'objet. Nous nommerons cette phase l'exploration haptique.
2. Les procédures spécifiques : une caractéristique particulière de l'objet comme par exemple la texture ou la courbure obtenues à travers des procédures exploratoires : mouvement latéral, pression, contact statique, suivi des contours (Kim, Smith-Jackson et Kleiner, 2014). Nous nommerons cette phase l'exploration tactile.

Lederman et Klatzky (1987, 1993) ont identifié six procédures exploratoires (Figure 11) chez les adultes, ces dernières sont des modèles stéréotypés de mouvements ou de contacts haptiques :

- le mouvement latéral (texture) ;
- le soulèvement (poids) ;
- la pression (dureté) ;
- l'enveloppement fournit des informations globales sur la propriété ;
- le contact statique informe sur la température et de manière plus approximative sur la forme, la taille, la texture et la dureté ;
- le suivi des contours informe sur le volume, la forme et la taille, cela fournit une connaissance floue de la texture et de la dureté.

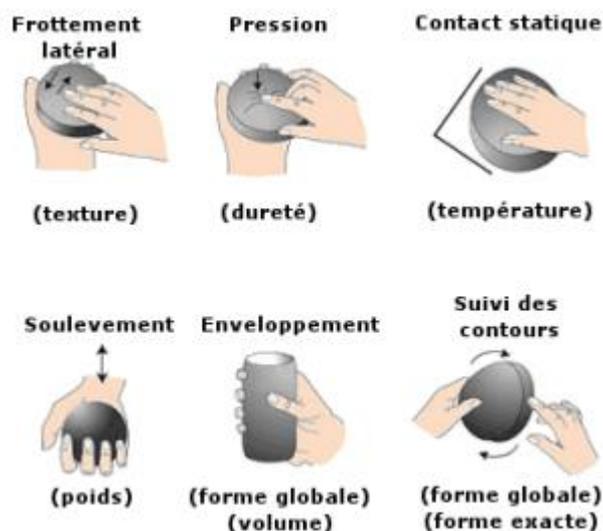


Figure 11 : procédures exploratoires (Lederman et Klatzky, 1987, 1993 d'après Bluteau (2010)).

Les auteurs les différencient selon quatre paramètres (Klatzky et Lederman, 1991) dépendants les uns des autres : le mouvement (dynamique vs statique), la direction de la force (normale vs tangentielle), la région de l'objet touché (surface, angles, surface et

angles) et la contrainte de l'espace de travail. Ces paramètres déterminent la compatibilité des procédures entre elles (Tableau 5).

Tableau 5 : compatibilité entre les procédures exploratoires d'après Klatzky et Lederman (1991) (+ = compatible ; - = incompatible).

	Pression	Mouvement latéral	Enveloppement	Suivi de contour	Soulèvement
Contact Statique	+	-	+	-	+
Pression		+	+	-	+
Mouvement latéral			-	+	-
Enveloppement				-	+
Suivi de contour					-

Lorsque deux procédures sont incompatibles, il est nécessaire de les effectuer l'une après l'autre ce qui augmente la durée exploratoire car seulement une propriété est extraite par exploration. Pour Lederman et Klatzky (1993) c'est le principe de repli sur une propriété, cela complexifie l'unification de la construction mentale de l'objet appréhendé. Toutefois, comme le souligne Richard (2002), Lederman et Klatzky n'ont pas étudié la succession des procédures et leur compatibilité.

Dans le cadre d'enseignements dispensés au sein de l'INSHEA, Bris (2004) apporte des informations complémentaires. L'enveloppement et le suivi des contours interviennent pour la perception des données spatiales de l'objet et l'appréciation de sa forme (Lederman et Klatzky, 1987), les autres procédures (à l'exception du soulèvement) viennent les accompagner, ainsi, le mouvement latéral est employé en même temps que le suivi des contours. L'enveloppement indique les informations proprioceptives complexes de l'objet. Le suivi des contours est une recherche consciente afin de vérifier et valider ce que nous explorons.

Heller (1989) a démontré que l'usage des deux index accroît la performance, deux explications à cela : l'usage simultané des deux mains augmente la rapidité du traitement de l'information et réduit le traitement cognitif, par ailleurs, l'un des deux doigts peut servir de point de référence sur la carte. Wijntjes et al. (2008a) ont observé trois principales stratégies d'exploration :

- unimanuelle ;
- bimanuelle : une main explore pendant que l'autre reste statique sur le dessin ;
- usage simultané des deux mains.

Les opérations varient selon l'usage concomitant des deux mains (Bris, n.d), en cas d'exploration bimanuelle, l'individu effectue une tâche d'évaluation ou de localisation d'un élément. L'exploration simultanée est une « extension de la procédure d'enveloppement aux objets de grandes tailles » et « une évaluation différentielle des propriétés de surface et de contour » (Bris, n.d).

La troisième stratégie semble faciliter le traitement de l'image notamment en termes de

détection de la symétrie. L'usage d'une main comme un point de repère pendant que l'autre main explore la carte semble faciliter l'encodage de l'information spatiale, l'exploration bimanuelle est plus efficace qu'avec une seule main (Wijntjes et al., 2008b), d'autre part il semblerait qu'utiliser l'ensemble des doigts de la main est plus opérant que d'utiliser un seul doigt (Klatzky et al., 1993).

Notons également que le moment d'apparition de la cécité, précoce ou tardive, détermine la familiarisation de l'individu avec les stratégies de lecture et la possibilité de développer une mémoire visuelle permettant de comprendre les conventions graphiques usuelles (Gual et al., 2011). En effet, plus la cécité apparaîtra tardivement, plus l'individu aura bénéficié d'une expérience visuelle lui facilitant la compréhension de ce qu'il lit tactilement.

En outre, selon le type d'objet exploré, les parties de la main sont plus ou moins sollicitées, en explorant un objet en 3D, la paume et les doigts sont impliqués dans la recherche informationnelle alors qu'en explorant un objet en 2D ce sont surtout les doigts qui interviennent (Richard, 2002).

2.1.5. Le Braille

Nous allons aborder la spécificité du Braille car concevoir des dispositifs accessibles aux personnes non-voyantes implique d'utiliser du Braille. En effet, des éléments tels que le titre, la légende ou diverses informations textuelles sont obligatoirement écrits en noir et en Braille.

Le code Braille a été inventé en 1829 par Louis Braille, il est réglementé par la norme Afnor NF Q 67-006 (février 1985). A ce jour, il demeure l'unique système de communication écrite pour les aveugles et des personnes atteintes de surdité, cela est dû à sa flexibilité et la possibilité de représenter toutes les langues ainsi que les notations musicales, scientifiques et mathématiques (Tobin, Greaney et Hill, 2000).

La Figure 12 illustre quatre cellules Braille, chaque cellule est composée de six points dont les dimensions sont standardisées et adaptées aux capacités sensorielles des individus. L'espacement des points et leur orientation étant immuables, les concepteurs graphiques doivent prévoir un espace d'inclusion suffisant (Tatham, 1991, cité par Brock, 2013).

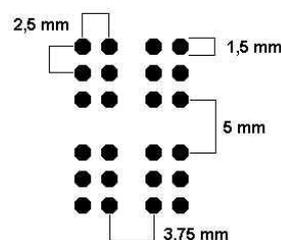


Figure 12 : dimension d'une cellule et espace entre plusieurs cellules
(source: <http://enfant-aveugle.com/spip.php?article12>).

L'apprentissage du Braille est une tâche difficile et l'âge d'apparition de la cécité est un facteur extrêmement important dans ce processus. En effet, un aveugle de naissance apprend à lire avec le Braille alors qu'un aveugle tardif doit réapprendre à lire en utilisant une modalité

sensorielle différente de la vision engendrant une réadaptation (Jansson et Monaci, 2003). Par ailleurs, les aspects perceptuel, spatial, phonologique et sémantique complexifient l'apprentissage (Hatwell, 2003) où la mémoire à court terme est fortement sollicitée (Jansson, et Monaci, 2003).

D'après les travaux de Lefèvre-Bellaydier, Gentaz et Spicher (2008), la lecture tactile est plus lente (100 mots / min) que celle visuelle (250 à 300 mots / min). De plus, devenir un brailleuse aguerri prend du temps, cela implique un contrôle psychomoteur extrêmement fin pour que l'exploration de gauche à droite soit la plus souple possible et pour la localisation de la ligne suivante. Il est possible d'apprendre le Braille à tout moment de sa vie, le non apprentissage ne réside pas dans la complexité de la tâche mais plutôt dans la volonté de l'individu. A ce jour, nous ne disposons de pas de chiffres précis concernant le nombre de brailleuse en France, ils seraient entre 10 et 15% parmi les personnes aveugles (Handicap.fr, 2009).

2.1.6. En conclusion

Nous avons présenté les caractéristiques de la déficience visuelle et les répercussions sur l'interaction avec l'environnement. Ces informations sont primordiales pour les concepteurs car elles orientent les choix de conception afin de concevoir un produit adapté à la particularité de la préhension tactile.

Pourquoi nous intéressons-nous particulièrement à la déficience visuelle ? Au regard de la primauté de la perception visuelle (Viberg, 1984), connaissant l'impact du vieillissement sur la vision telle qu'une sensibilité aux contrastes spatiaux (Owsley, 2011) ou une maladie comme par exemple la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) qui représente la première cause de cécité ou de malvoyance sévère après 55 ans (Donati, 2007) et sachant que d'ici 2050, plus d'un tiers de la population française aura plus de 60 ans (Robert-Bobée, 2007), prendre en considération les besoins et les spécificités du public déficient visuel semble indispensable dans la conception des produits (biens et services) et environnements.

Ainsi, dans la seconde partie de l'état de l'art, nous présenterons la démarche de la conception universelle qui est l'une des approches permettant d'intégrer un large éventail de publics avec des besoins spécifiques et de rechercher des solutions pour rendre les produits et environnements accessibles au plus grand nombre.

2.2. La Conception Universelle

L'objectif de cette section est de définir le cadre, les enjeux et de mettre en exergue les limites de la conception universelle. En effet, même si cette démarche est apparue dans les années 90, aujourd'hui encore, elle demeure floue pour de nombreux industriels et utilisateurs, que ce soit en termes de méthodologie de conception ou d'évaluation de produits existants (Vanderheiden et Tobias, 2000).

2.2.1. Présentation de la Conception Universelle

2.2.1.1. Historique et définition

Ronald L. Mace, architecte américain, proposa pour la première fois le terme « conception universelle » en 1985 pendant le développement du courant « barrier-free design » (Kawauchi, 2010 (traduit du livre publié en japonais en 2001) ; Preiser et Ostroff, 2011) qui était une réponse au mouvement des droits pour le handicap aux Etats-Unis (Plos, 2011). L'objet de ce courant est de créer des environnements sans barrières ni obstacles à partir des besoins des utilisateurs (Conte, 2004 cité par Plos, 2011).

Pour définir la conception universelle, nous nous référons à trois définitions que nous jugeons complémentaires.

« La conception de produits et d'environnements qui peuvent être utilisés par tous, dans toute la mesure du possible, sans avoir besoin d'adaptation ou de conception spécifique ». (Mace, 1985 ; Story, Mueller et Mace, 1998)

La première définition introduit les notions fondamentales de la conception universelle, à savoir le fait de concevoir des produits et environnements utilisables **par tous** et ce, sans adaptation.

« La conception universelle est la conception d'environnements, produits et services afin que toutes les personnes sans distinction d'âge, de genre, de capacité ou d'origine culturelle, puissent avoir les mêmes opportunités de comprendre, d'accéder et de participer pleinement aux activités économiques, sociales, culturelles et de loisirs, de manière la plus indépendante possible ». (Universal Design Organisation⁴)

La seconde définition précise, d'une part, que des services peuvent être également conçus dans une logique universelle, et spécifie d'autre part l'expression « par tous » qui est trop vaste et tend plus à déconcerter les industriels qu'à les guider.

« Approche qui vise à prendre en compte le maximum d'utilisateurs et le maximum de contextes d'utilisation au moment de la conception et du développement d'un produit,

⁴ Repéré à : <http://luniversaldesign.fr/la-conception-universelle-definitions-et-principes-10>: définition du Design For All Foundation

en tenant compte de la **viabilité économique du projet** ». (Brangier et Barcenilla, p.78, 2003)

La troisième définition introduit les notions de maximum d'utilisateurs et de contextes et surtout, l'intérêt économique pour les industriels d'entreprendre une telle démarche. En effet, concevoir un produit en s'adressant dès le début à un vaste éventail d'utilisateurs, et pas uniquement à un public cible permet de multiplier les contextes et besoins et par conséquent de limiter des reconceptions de produits. Ces reconceptions faisant suite à des usages non attendus que ce soit par le public cible ou une autre catégorie d'utilisateurs non envisagée qui s'approprie le produit. En outre, la viabilité économique a été démontrée dans le secteur du transport (Odeck et al., 2010 ; Fearnley et al., 2011 cité par Buisine, 2013).

L'intégration des utilisateurs dans la conception des produits est préconisée par l'ergonomie et plus particulièrement par le champ de la conception centrée utilisateurs, la différence ici, est qu'il ne s'agit pas de se focaliser uniquement sur les utilisateurs cibles, définis en termes marketing, mais d'inclure a priori le plus de catégories d'utilisateurs possible afin de répondre à leurs différents besoins et capacités. Prenons le cas d'un site web de vente en ligne : les analyses marketing montrent que les visiteurs sont des femmes dont la tranche d'âge varie de 15 ans à 30 ans, et l'entreprise souhaite rendre son site web plus facile d'usage et intuitif. En conception centrée utilisateurs, seront recrutées un panel de testeuses appartenant à cette catégorie d'âge. En conception universelle, on veillera à inclure également dans le panel des personnes âgées, des utilisateurs porteurs de troubles sensoriels, moteurs et cognitifs, etc.

Une idée couramment avancée dans la littérature sur la conception universelle est qu'elle est bénéfique pour le développement de biens et services pour le marché de masse et qu'elle est censée apporter une plus-value pour les usagers avec et sans déficience (Keates et Clarkson, 2004 ; ACA, 2010 ; Lin et Wu, 2015 ; Singh et Tandon, 2016). Cependant, ce postulat n'est généralement pas étayé de données empiriques ou expérimentales rigoureuses. Au mieux, il est illustré par des exemples classiques d'aménagement de l'espace tels que les bateaux sur les troittoirs, les rampes d'accès ou les mains courantes dans les escaliers.

2.2.1.2. Concevoir « pour tous » ?

Pour tout être humain, il est très difficile d'atteindre ses objectifs si ces derniers ne sont pas clairement identifiés et définis. Plus un objectif est large et flou moins nous réussirons à l'atteindre car les indicateurs de réussite et d'échecs ne sont pas explicités. Il en est de même pour la conception universelle. Vouloir concevoir une voiture ou un site-web de e-commerce en ligne « pour tous » peut sembler utopique voire insurmontable tant l'expression « pour tous » est peu signifiante, c'est pour cela qu'il est nécessaire de l'explicitier.

Comme point de départ, reprenons la définition du Design For all Foundation : « *La conception universelle est la conception d'environnements, **produits et services** afin que toutes les personnes **sans distinction d'âge, de genre, de capacité ou d'origine culturelle [...]** ».*

Le fait d'indiquer qu'il n'y a « pas de distinction d'âge, de genre, de capacité ou d'origine » nous permet de qualifier les différentes typologies d'utilisateurs potentiels : enfants, seniors, femmes, hommes, personnes dites valides, personnes en situation de handicap (moteur,

auditif, visuel, cognitif, illettrisme, ...) ou encore personne étrangère ne parlant pas la langue du pays.

Dès lors, nous pouvons établir quelles sont les spécificités de chacun de ces publics et ainsi déterminer les besoins qui nous permettent de réfléchir aux réponses technologiques et fonctionnelles que nous pouvons apporter dans les produits.

Les **Enfants** ont des capacités en cours de développement et, selon leur âge, ils peuvent rencontrer des limitations physiques (ex : stature ou préhension), motrices (dextérité, force) ou cognitives (compréhension, lecture) (Buisine et al., 2017).

Les **Seniors** cumulent, parfois, plusieurs troubles : visuel, auditif, moteur et cognitive (déclin de la mémoire, de l'attention, etc.) (Drag et Bieliauskas, 2009).

Les **Personnes étrangères** rencontrent plus particulièrement des problèmes d'ordre culturel et langagier. Par conséquent, l'usage d'un produit ne doit pas dépendre de l'origine culturelle ou langagière de l'utilisateur et, lorsqu'il s'avère indispensable d'inclure des informations, celles-ci doivent être au moins traduites en anglais (une des langues les plus parlées au monde).

Parmi les **Personnes avec déficience auditive**, de nombreux sourds ont aussi difficilement accès aux informations écrites. La statistique souvent émise et citée dans le rapport de Gillot (1998) est que 80% des sourds seraient en situation d'illettrisme, cela s'expliquerait par le fait que l'acquisition d'une langue se fait oralement. Ils utilisent la Langue des Signes Française qui fut reconnue par la loi de 1991 comme une langue à part entière. Afin d'atténuer le déficit auditif, de nombreux malentendants se font appareiller. Ainsi, les espaces possédant un système d'induction magnétique leur offrent la possibilité de recevoir un son net sans parasite. Pour ce faire, ils commutent leur appareil auditif en position « T ». Les personnes non appareillées peuvent s'équiper de casques récepteurs dédiés.

Les **Personnes à Mobilité Réduite** (déficience motrice) regroupent « toutes les personnes ayant des difficultés pour utiliser les transports publics, telles que, par exemple, personnes souffrant de handicaps sensoriels et intellectuels, personnes en fauteuil roulant, personnes handicapées des membres, personnes de petite taille, personnes âgées, femmes enceintes, personnes transportant des bagages lourds et personne avec enfants (y compris enfants en poussette) » (décret du 9 février 2006). Les contraintes auxquelles doivent faire face les personnes à mobilité réduite sont de l'ordre du déplacement, de l'accès aux produits, aux bâtiments et aux environnements. Un ensemble de normes existent pour rendre accessibles les espaces aux fauteuils.

Selon le guide CERTU (2013), les **Personnes avec déficience mentale, cognitive ou psychique** rencontrent, notamment, « des difficultés de repérage spatio-temporel et de prise d'information » et leurs capacités d'analyse sont « réduites ou difficiles à mobiliser ». L'acquisition d'informations doit se faire via des plans simples sans éléments distrayants, les pictogrammes sont également préconisés.

Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait nous ne parlons plus de « personne handicapée » mais de « personne en situation de handicap ». Pour Hamonet (2010)

« constitue une situation de handicap le fait, pour une personne, de se trouver, de façon temporaire ou durable, limitée dans ses activités personnelles ou restreinte dans sa participation à la vie sociale du fait de la confrontation interactive entre ses fonctions physiques, sensorielles, mentales et psychiques lorsqu'une ou plusieurs sont altérées d'une part et les contraintes de son cadre de vie, d'autre part ».

Dans leur modèle du Processus de Production du Handicap (PPH), Fougeyrollas et al. (1999) stipulent que le handicap n'est pas uniquement lié aux capacités ou incapacités d'une personne (facteurs personnels) mais également aux habitudes de vies de la personne ainsi qu'aux facteurs de risques et environnementaux qui peuvent être facilitateurs ou obstacles (Figure 13).

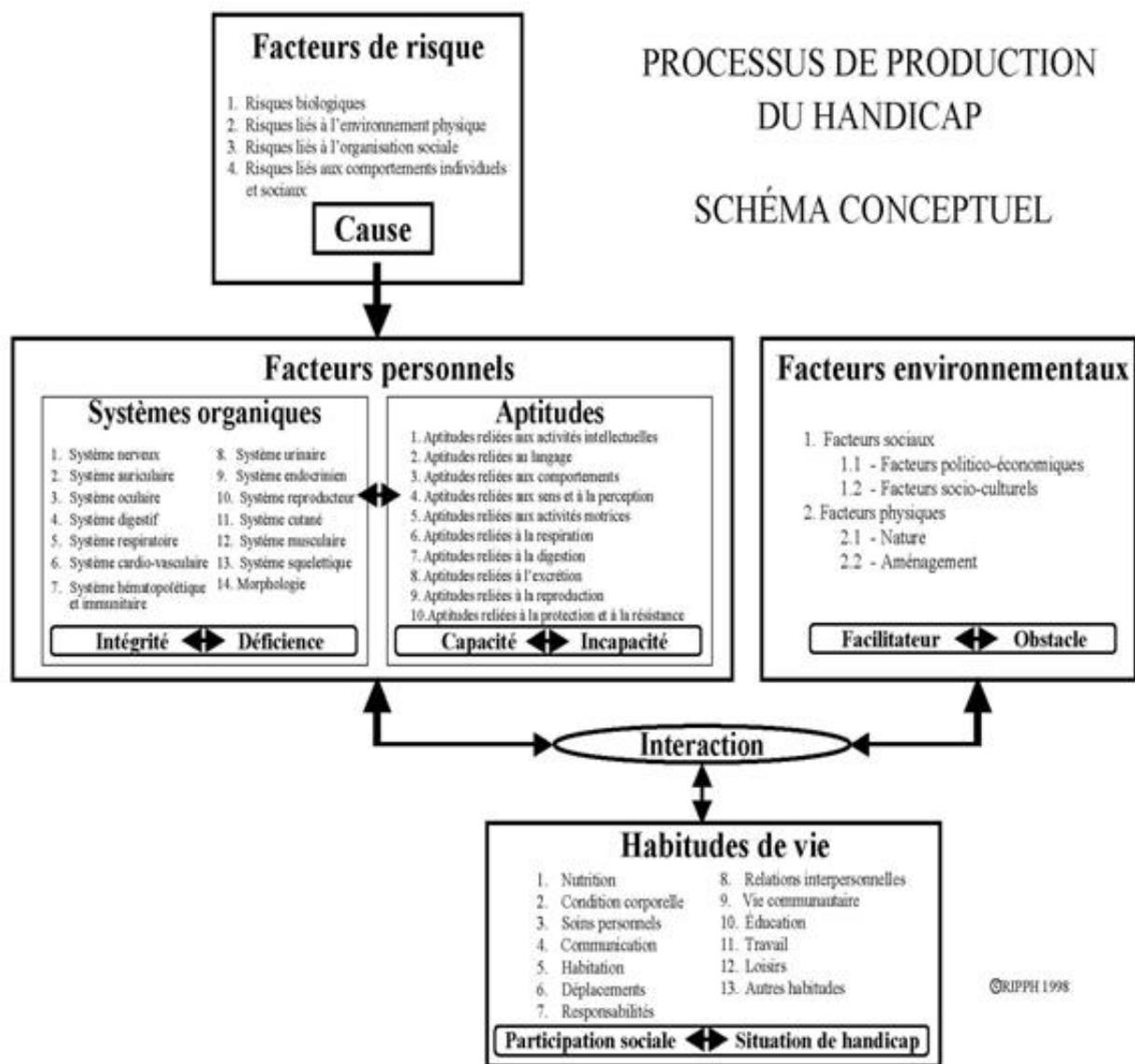


Figure 13 : modèle du Processus de Production du Handicap (PPH) (Fougeyrollas et al., 1999, source : <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24850/ch02.html>).

La conception universelle et l'ergonomie peuvent intervenir sur les facteurs environnementaux, notamment ceux liés à l'aménagement, en concevant des produits et environnements facilitateurs grâce à la prise en compte des besoins des usagers : citons par

exemple l'abaissement des trottoirs (Figure 14) qui facilite l'accès aux fauteuils roulants mais également aux poussettes, aux personnes qui éprouvent des difficultés à se déplacer (seniors, personnes avec un pied dans le plâtre, etc.) ou encore aux cyclistes.



Figure 14 : exemple d'abaissement de trottoir pour piétons et cyclistes à Strasbourg
(source : <http://transports.blog.lemonde.fr/2012/11/07/strasbourg-sanctionne-ses-cyclistes-pour-rassurer-ses-pietons/>).

Pour illustrer ce modèle, prenons deux exemples, dans le premier cas il s'agit d'une personne en fauteuil roulant qui souhaite rentrer dans un tram. La rampe d'accès lui permet de pénétrer dans le tram et de s'y installer sans encombre (des places y sont dédiées). Le facteur personnel correspond au système musculaire déficient qui rend nécessaire le recours à un fauteuil roulant, toutefois les facteurs environnementaux sont facilitateurs : les transports sont adaptés et lui permettent de réaliser ses habitudes de vie, par exemple aller travailler. Selon le modèle de production du handicap, cette personne, malgré ses facteurs personnels, n'est pas en situation de handicap. Dans le deuxième cas, il s'agit d'un père de famille devant emprunter le métro avec une poussette. Le père de famille n'a pas de déficience organique l'incapacitant, mais l'environnement est un obstacle au déplacement : si l'absence d'ascenseur l'empêche de réaliser ses habitudes de vie (ex : conduire son enfant à la crèche avant d'aller travailler) cette personne se retrouve en situation de handicap même s'il n'a, *a priori*, aucun déficit cognitif, sensoriel ou moteur.

La conception universelle peut être déclinée selon deux démarches de conception de produits (Stary, 1997 ; Plos, Buisine, Dupin, Aoussat, Dumas, 2007) (Figure 15):

- approche **Top-down** (ou adaptative) : des produits spécialisés sont conçus pour répondre au besoin d'utilisateurs spécifiques cibles, comme par exemple les personnes atteintes d'un handicap, ensuite ces besoins ou solutions sont étendues aux autres utilisateurs ;
- approche **Bottom-up** (ou proactive) : les produits sont conçus pour le plus grand nombre d'utilisateurs, incluant le maximum de profils différents (des personnes en situation de handicap ou non).



Figure 15 : approches Top-down et Bottom-up.

Ces deux démarches permettent donc d’aboutir à des produits « grand public » en prenant en compte les besoins d’usagers à besoins spécifiques. Toutefois, l’approche « top-down » semble plus particulièrement appropriée à la conception de dispositifs pour les personnes en situation de handicap. En effet, Plos et al. (2007) y associent des courants tels que le « Rehabilitation design » ou le « Design for disability » alors pour que l’approche « bottom-up » les auteurs y associent tous les courants inclusifs tels que le « Design for all » ou « Inclusive design » s’adressant à du grand public.

2.2.1.3. Les 7 principes de la conception universelle

En 1997, Ronald Mace rassemble autour de lui un collectif d’architectes, de designers produits, d’ingénieurs et de chercheurs dans la conception d’environnements afin de proposer un ensemble de principes (Connel et al., 1997) de conception universelle. A ce jour, ils font toujours référence et sont diffusés internationalement (Plos, et al., 2007). Chacun des principes est présenté sous le format suivant : l’intitulé, la définition du principe, un ensemble de lignes directrices et une illustration (Figure 16).

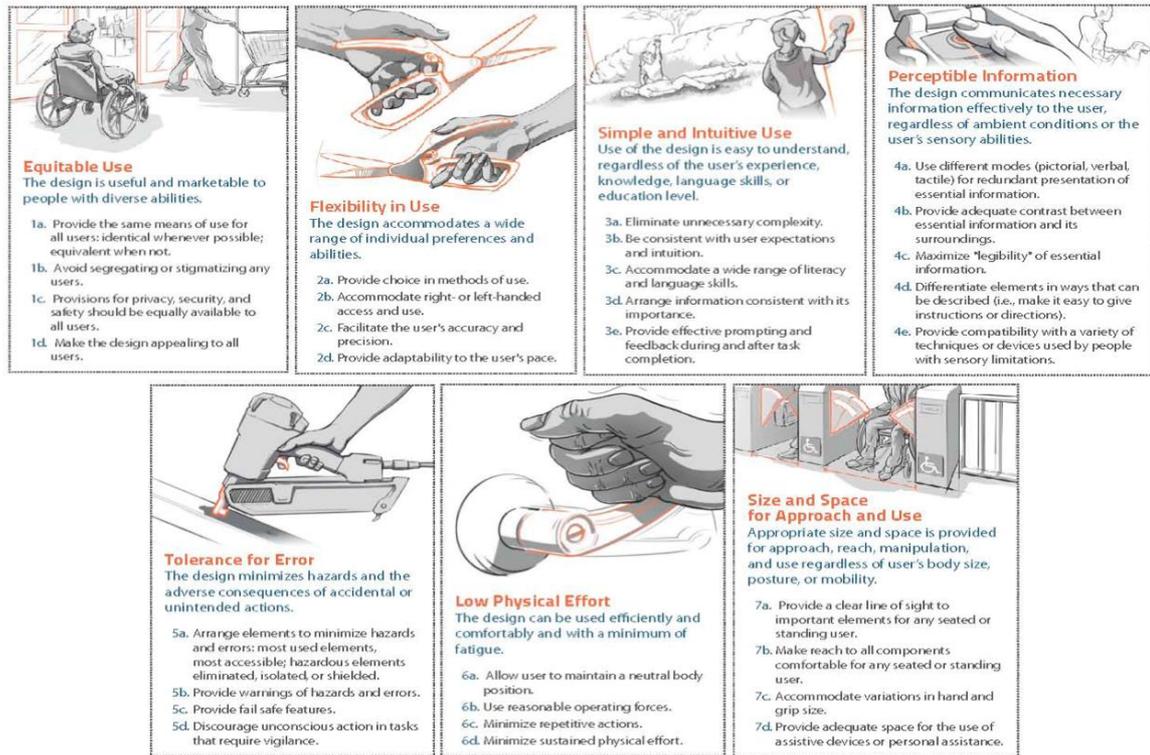


Figure 16 : les fiches pratiques illustrant les sept principes de conception universelle.

Pour les auteurs (Connel et al., 1997), ces principes permettent aux industriels et aux utilisateurs, 1) d'évaluer les produits et environnements existants, 2) de guider la conduite du processus de conception, et enfin, 3) de former les utilisateurs et les concepteurs sur les caractéristiques de produits et d'environnements qui sont plus confortables d'usage. Ces principes offrent donc un cadre aux concepteurs et présentent les points clés auxquels ils doivent veiller lors de la conception d'un produit de tout type.

De notre point de vue, il y a deux limites à ces principes. La première concerne la volonté d'englober tous les produits, qui engendre une confusion chez les concepteurs. Plus particulièrement, l'absence de classification au sein des lignes directrices d'un même principe. En effet, certaines recommandations s'appliquent à de la conception de produits numériques alors que d'autres à de la conception d'objets physiques sans que le domaine d'usage ne soit mentionné. C'est au concepteur de faire le tri.

La seconde limite porte sur les lignes directrices qui apparaissent être plus des objectifs généraux à atteindre que des spécifications fonctionnelles à proprement parler. En effet, elles sont très globales, si nous prenons l'exemple de la recommandation « conception attrayante pour tous les utilisateurs » du principe « usage égalitaire », il n'est pas spécifié ce qu'est une conception attrayante pour tous les utilisateurs ni la procédure à suivre pour y parvenir. Cette limite n'est pas intrinsèque aux principes de la conception universelle mais est une limite en soi des grilles de principes ou d'heuristiques, qui requièrent une certaine expertise antérieure pour être utilisées. Le fait qu'il existe peu d'experts en conception universelle en limite la diffusion auprès des industriels.

Ces principes ont le mérite d'exister et sont à ce jour la référence la plus partagée en la matière. Ils ont contribué à l'avancement de la réflexion des acteurs sociaux et sociétaux quant à l'accessibilité et la prise en compte des publics. Ces principes ayant plus de 20 ans, nous pouvons également nous interroger sur leur évolution au regard des avancées technologiques et humaines (la mobilité, la diffusion de la culture, etc.) que nous avons vues durant cette période.

2.2.2. La conception universelle, un atout pour l'ergonomie

A notre sens, la conception universelle pourrait être l'approche la plus adéquate pour répondre aux critères d'utilisabilité et plus largement à ceux de l'acceptabilité établis par Nielsen (1993) d'un produit ou d'un environnement. Pour étayer notre propos, revenons sur les notions d'utilisabilité et d'acceptabilité.

La notion d'utilisabilité (ou *usability* en anglais) fut définie pour la première fois par Miller (1971) (Shackel, 1986 ; Kim, 2015) comme relevant de la facilité d'usage. Aujourd'hui, la communauté se réfère principalement à la définition de la norme ISO 9241-11 (1998) : « degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficience et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié » (Figure 17). Ainsi :

- l'**efficacité** est « la précision et degré d'achèvement selon lesquels l'utilisateur atteint des objectifs spécifiés » (ISO 9241-11) ;
- l'**efficience** est « le rapport entre les ressources dépensées et la précision et le degré d'achèvement selon lesquels l'utilisateur atteint des objectifs spécifiés » (ISO 9241-11) ;
- la **satisfaction** est « l'absence d'inconfort, et les attitudes positives dans l'utilisation du produit » (Brangier et Barcenilla, 2003).

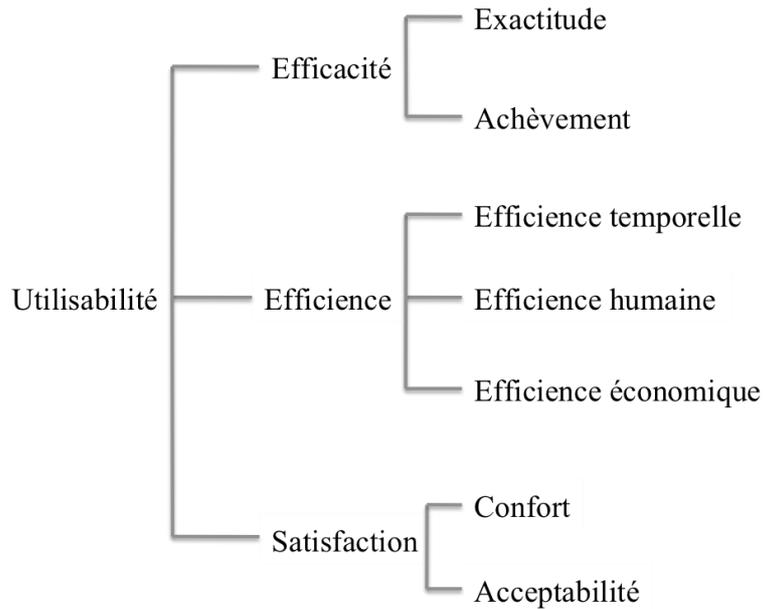


Figure 17 : dimensions de l'utilisabilité (ISO 9241-11, 1998) (d'après Février, 2011).

Toutefois, comme le souligne Bengts (2004), l'efficacité, l'efficience et la satisfaction ne couvrent pas l'entièreté de l'utilisabilité. En se basant sur le modèle proposé par Van Welie et ses collaborateurs (1999), Bengts définit l'utilisabilité en termes d'aspects affectifs, utilitaires et cognitifs (Figure 18).

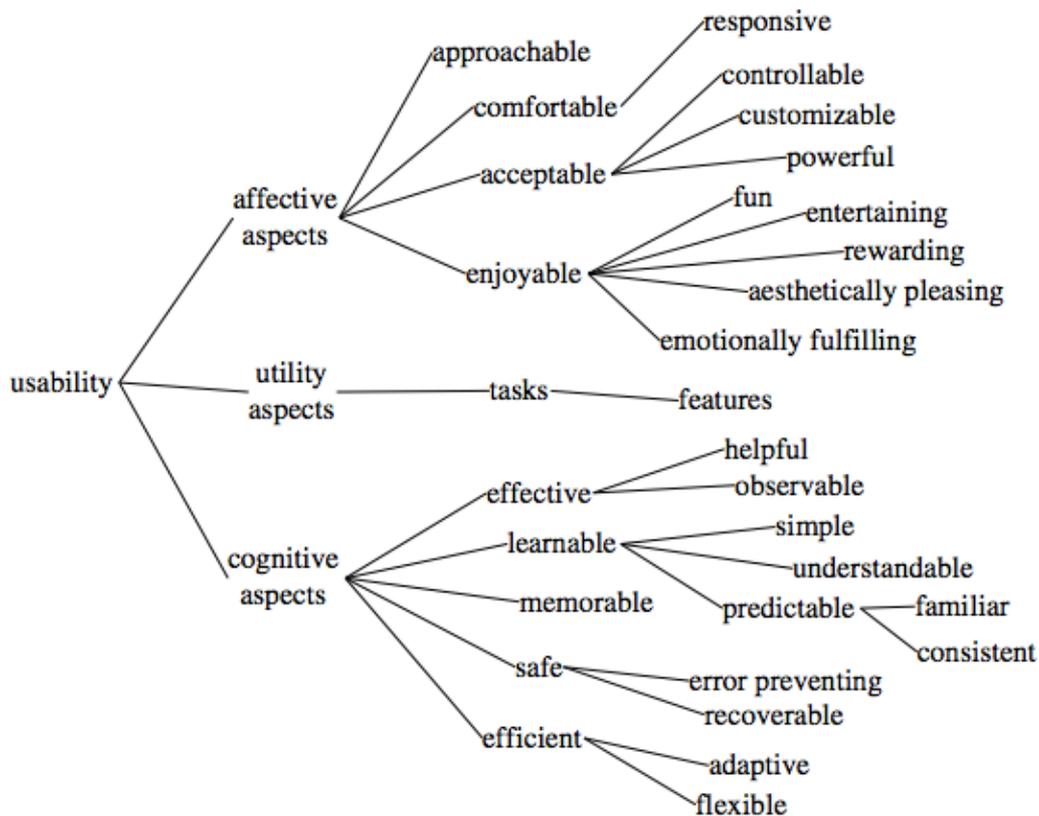


Figure 18 : modélisation de l'utilisabilité selon Bengts (2004) comprenant les aspects affectifs, utilitaires et cognitifs.

Ainsi, ce modèle intègre des dimensions telles que la personnalisation, l'amusement ou la sécurité que l'on retrouve régulièrement dans le champ de l'expérience utilisateur et qui permettent de définir si cette dernière est satisfaisante ou non. En somme, Bengts (2004) intègre des notions abordées habituellement de manière distincte ; ce modèle est plus global et permet de considérer des dimensions auxquelles nous n'aurions pensé de prime abord. Néanmoins, ce modèle n'est pas répandu que ce soit dans la communauté scientifique ou professionnelle (industriels, consultants).

La notion d'acceptabilité d'un système est attribuée à Nielsen (1993) et tend à modéliser l'acceptation ou le rejet d'un produit par les utilisateurs. Ce faisant, pour qu'un produit soit accepté il doit intégrer les critères énoncés dans le modèle (Figure 19).

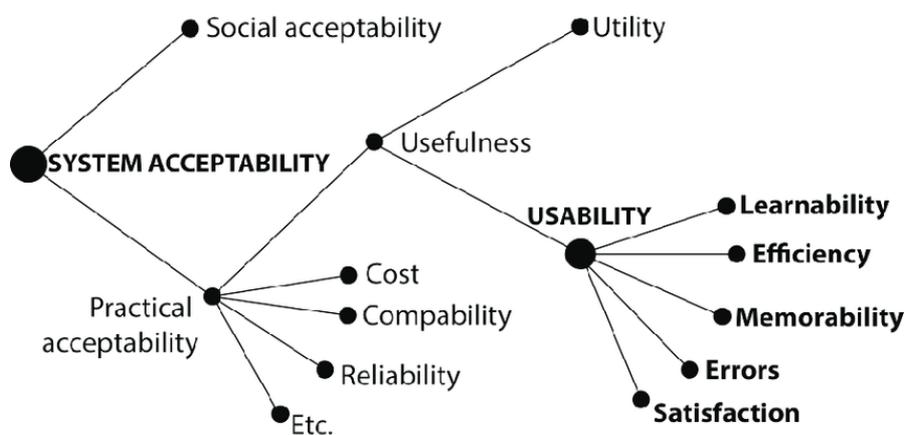


Figure 19 : modèle d'acceptabilité de Nielsen (d'après Lind, 2017).

L'acceptabilité fonctionnelle ou pratique : il s'agit des critères d'utilisabilité mais également de l'utilité du produit (réponse aux besoins) sans oublier son coût, sa fiabilité ou encore sa compatibilité avec l'existant.

L'acceptabilité sociale : il s'agit de prendre en compte l'image et la valeur d'estime attribuées au produit. Il est nécessaire que le produit s'intègre harmonieusement dans l'environnement auquel il est destiné ainsi qu'aux tendances actuelles permettant ainsi d'éviter la commercialisation d'un produit stigmatisant. Nous devons la théorisation du terme « stigmaté » au sociologue Erving Goffman (1975) qui a défini la stigmatisation comme « un processus dynamique de dévaluation qui discrédite significativement un individu aux yeux des autres » (Inpes, 2012, p.7). Selon Goffman, il y a trois catégories de stigmates : 1) les stigmates corporels qui correspondent aux handicaps, 2) les stigmates inhérents à la personnalité et/ou au passé de la personne comme l'addiction à l'alcool, les troubles du caractère, etc. et, 3) les stigmates tribaux qui correspondent à l'ethnie, la nationalité ou la religion.

La dimension de l'**accessibilité** est également ajoutée par Clarkson et al. (2003) (cité par Plos, 2011) (Figure 20) dans laquelle l'utilisabilité des produits est éprouvée auprès de différents profils d'utilisateurs avec des capacités et des contextes d'usages différents.



Figure 20 : modèle d'acceptabilité selon Clarkson et al. (2003) (d'après Plos, 2011).

Dans notre entreprise d'accueil Tactile Studio, l'image de marque repose en grande partie sur le fait de proposer des dispositifs à la fois accessibles aux personnes non- et malvoyantes, esthétiques et en adéquation avec la scénographie du lieu. Ces éléments sont ressortis de nombreux entretiens que nous avons menés auprès des clients et des usagers. Par exemple, la Fondation Louis Vuitton avait commandé à Tactile Studio trois maquettes démontables (Figure 21) qui devaient être employées lors d'ateliers avec des personnes déficientes visuelles et des enfants. Mais en raison du caractère esthétique et pédagogique des maquettes, celles-ci ont finalement été installées dans le hall de la Fondation Vuitton, pour que tous les visiteurs puissent en profiter. Ces produits valorisent le client ainsi que les usagers déficients visuels à qui ces dispositifs étaient initialement adressés.



Figure 21 : maquettes démontables de la Fondation Louis Vuitton installées dans le hall du bâtiment (crédit photo : Tactile Studio).

A l'inverse, la conception de plans d'orientation destinés à un public spécifique telles les personnes non-voyantes aboutit à des dispositifs de niche codifiés et utilisables dans des contextes bien définis comme par exemple l'apprentissage de la géographie par des enfants aveugles (Brock, Truillet, Oriola, Picard et Jouffrais, 2015) (Figure 22).



Figure 22 : carte pour l'apprentissage de la géographie (Brock, Truillet, Oriola, Picard et Jouffrais, 2015).

Les limites sont doubles, d'une part, ces projets restent bien souvent à l'état expérimental car ils sont trop spécifiques mais impliquent un processus de R&D important, d'autre part ce type d'approche est à l'inverse de l'inclusion car cela segmente les différents publics. En effet si ces plans sont lisibles par des personnes non-voyantes, ils ne sont pas compréhensibles par des voyants.

Dès lors, la conception universelle permet de réunir deux démarches a priori opposées, celle de la conception de produits « grands publics » ou de masse, destinés aux personnes dites valides, et celle de la conception de produits « spécifiques » ou de niches, destinés aux personnes en situation de handicap (Plos, 2011 ; Conte 2004 ; Brangier et Barcenilla, 2003).

2.2.3. La conception universelle comme démarche ergonomique

La conception universelle permet d'accroître l'utilisabilité et l'acceptabilité des produits non seulement auprès des publics cibles mais également auprès d'autres catégories d'utilisateurs. Comme le souligne Plos (2011), une similarité des principes est identifiable avec les heuristiques de Nielsen (1993) et les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993) (Tableau 6).

Tableau 6 : comparaison des principes de conception universelle (1997) avec les heuristiques de Nielsen (1994) et les critères ergonomiques de Bastien et Scapin (1993).

Conception universelle (1997)	Heuristiques de Nielsen (1993)	Critères de Bastien et Scapin (1993)
Usage équitable	/	/
Flexibilité d'usage	Flexibilité et efficience de l'utilisation	Adaptabilité Compatibilité
Usage simple et intuitif	Visibilité de l'état du système Contrôle de la part de l'utilisateur et liberté	Charge de travail Guidage Homogénéité / cohérence Contrôle explicite Signifiante des codes et dénominations

	Correspondance	
Informations perceptibles immédiatement	Consistance et normes Reconnaissance plutôt que rappel Aide et documentation	Guidage Signifiante des codes et dénominations
Tolérance à l'erreur	Prévention des erreurs Aider l'utilisateur à reconnaître, diagnostiquer et récupérer les erreurs	Gestion des erreurs
Faible niveau d'effort physique	/	Charge de travail
Dimension et espace prévus pour l'approche et l'usage	/	Adaptabilité Compatibilité

Le principe de l'« usage égalitaire », spécifique à la conception universelle (Plos, 2011), est inhérent à l'universalité. En effet, les auteurs le définissent ainsi : « un produit conçu selon une approche de conception universelle doit être utile et commercialisable auprès de personnes ayant différentes capacités, sans adaptation nécessaire ». Ce principe met l'accent sur les mêmes éléments que la définition de Mace et ses collègues (1985 ; 1998), à savoir la conception pour un large éventail de publics et l'absence de besoin d'adaptation. Pour aider les concepteurs à atteindre cet objectif, les recommandations sont :

1. Fournir à tous les utilisateurs les mêmes moyens d'utilisation : identique quand cela est possible et équivalent autrement.
2. Eviter toute ségrégation ou stigmatisation.
3. Mettre à la disposition de tous les utilisateurs des informations relatives à la protection des renseignements personnels et la sécurité.
4. Conception attrayante pour tous les utilisateurs.

En somme, ce qui distingue l'approche de la conception universelle de celles de Nielsen et de Bastien et Scapin et plus largement de la norme d'utilisabilité (ISO 9241) c'est l'aspect universel versus spécifique. En effet, dans une démarche universaliste, il s'agit d'une réponse aux besoins d'une pluralité d'utilisateurs avec des capacités et caractéristiques différentes, et non pas à un utilisateur identifié, engendrant dès lors, l'utilisation de modes d'interaction multimodaux pour permettre l'atteinte de buts communs. Cela implique de la part des industriels de considérer dès le début de la conception un éventail d'usagers, d'identifier leurs besoins et capacités afin d'offrir des fonctionnalités adéquates. Cette considération peut se faire au travers d'enquêtes ou encore de l'utilisation de persona.

Dans la section suivante, nous vous présenterons deux méthodes permettant d'entreprendre une démarche de conception universelle au sein d'un processus de conception de produits.

2.2.4. Les méthodes de conception

Tout industriel peut entreprendre une démarche de conception universelle, la problématique est qu'il existe peu de méthodes clairement définies pour cela. En ergonomie, nous trouvons la Conception Centrée Utilisateurs qui permet, par exemple, de concevoir des produits et d'aménager des postes de travail adaptés aux besoins des usagers. Ce sont soit des ergonomes en poste en entreprise qui les utilisent soit des consultants en ergonomie, qui accompagnent les entreprises dans leurs projets.

Deux catégories de méthodes de conception ont été proposées pour structurer une démarche de conception universelle : les méthodes de co-création et de conception participative d'une part, et les méthodes d'ingénierie d'autre part, représentées notamment par la méthode EMFASIS.

2.2.4.1. Les méthodes de co-création

La première typologie de méthode est celle de co-création. Quelle est la différence entre la conception centrée utilisateur et la co-création ? Pour la première il s'agit de créer « pour » l'utilisateur, pour la seconde la conception est réalisée « avec » voire « par » l'utilisateur lui-même. Les utilisateurs ne sont pas uniquement sollicités pour évaluer le produit à travers des tests mais sont co-acteurs de la conception du produit en étant intégrés aux différentes phases de conception.

Les activités de co-création peuvent être ponctuelles ou localisées, comme le soulignent Lobbe, Bazzaro et Sagot (2016). Des lieux tels que les Fablab sont propices à ce type de démarche, les auteurs indiquent que ces lieux sont, notamment, plébiscités par les personnes en situation de handicap et leurs proches et dès lors ils apparaissent adéquats pour intégrer ces populations dans les processus de conception. Un Fablab – contraction de l'anglais Fabrication Laboratory – est un espace (atelier) ouvert au public qui met à disposition des outils permettant la conception et la fabrication d'objets. Ils sont ouverts à tout le monde : étudiants, designers, grand public, professionnels, etc.

Afin de comprendre quelles sont les méthodes et outils permettant aux utilisateurs de devenir des co-créateurs au sein des Fablabs, Lobbe, Bazzaro et Sagot (2016) ont effectué une observation participante de 6 mois dans un FabLab, il en résulte une première formalisation d'un processus de conception basé sur les traces. Les auteurs se sont inspirés du paradigme de Keates et Clarkson (2003) qui ont modélisé la boucle de connaissances à obtenir dans une démarche de conception pour tous. Cette boucle comprend 8 phases successives (Figure 23).

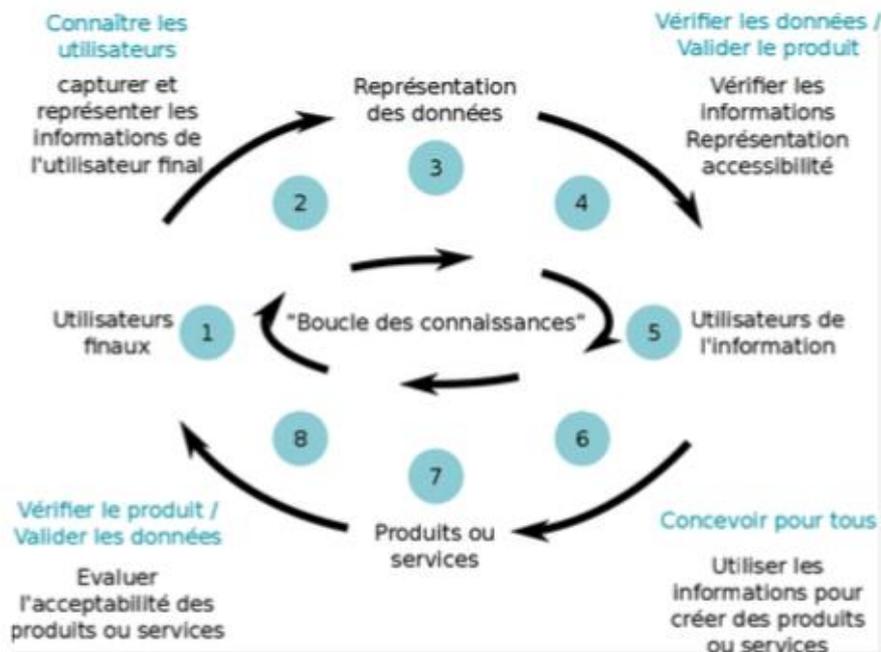


Figure 23 : boucle de connaissances de Keates et Clarkson (2003) (selon Lobbe, Bazzaro et Sagot, 2016).

La démarche est co-créative dans le sens où les utilisateurs sont intégrés dans la boucle de conception dès le début (étapes 1 et 2) du processus et non pas uniquement lors de la phase d'évaluation (étape 8).

2.2.4.2. La méthode EMFASIS

Une seconde méthode est l'approche EMFASIS (Extended Modularity, Functional Accessibility and Social Integration Strategy) (Plos, 2011 ; Plos et al., 2012 ; Buisine, 2013), stratégie permettant de stimuler l'innovation au sein de la conception d'aides techniques.

Elle s'appuie sur les approches de Marketing de niche, de Conception modulaire, d'utilisabilité et de design industriel.

Cette approche comprend cinq principes de conception :

1. Extension du marché

Ce principe est issu du marketing de Niche et est analogue à l'approche adaptative de la conception universelle. Il s'agit de partir du besoin spécifique d'utilisateurs porteurs de déficiences (niche) et de définir une stratégie de croissance vers la réponse aux besoins des populations de masse.

2. Modularité

Ce principe est issu du génie industriel. La conception modulaire est « une méthodologie de conception qui vise à développer une architecture produit composée de différents sous-systèmes (modules) en vue d'atteindre une série de performances perçues ». Il existe quatre types de modules (Mtopi Fotso, 2006) :

- **module de base** : fonctionnalités basiques non variables et fondamentales ;
- **module auxiliaire** : fonctionnalités utilisées en conjonction avec les modules basiques pour créer des modules variés ;
- **module adaptatif** : pièce ou service d'un modèle adapté à un autre module ;
- **non-module** : fonctionnalités spécifiques à l'utilisateur conçues individuellement.

Ainsi la conception modulaire permet aux industriels de concevoir des produits évolutifs selon les besoins des différentes catégories d'utilisateurs et les technologies disponibles. Il s'agit alors de raisonner non plus en produit unique mais en gamme de produits (Buisine, Plos, Aoussat, 2011b).

Les principaux avantages de la conception modulaire sont : 1) l'optimisation des produits, 2) la standardisation et la personnalisation, 3) l'augmentation des combinaisons entre les modules, 4) la diminution des coûts individuels de fabrication, 5) la diminution du time-to-market et 6) l'optimisation des capacités de production (Plos, 2011 ; Buisine, Plos, Aoussat, 2011a). Ces avantages expliquent pourquoi, les premiers secteurs d'applications furent ceux de l'informatique, l'aéronautique et l'automobile (Cohendet, Diani et Lerch, 2005) (Figure 24).

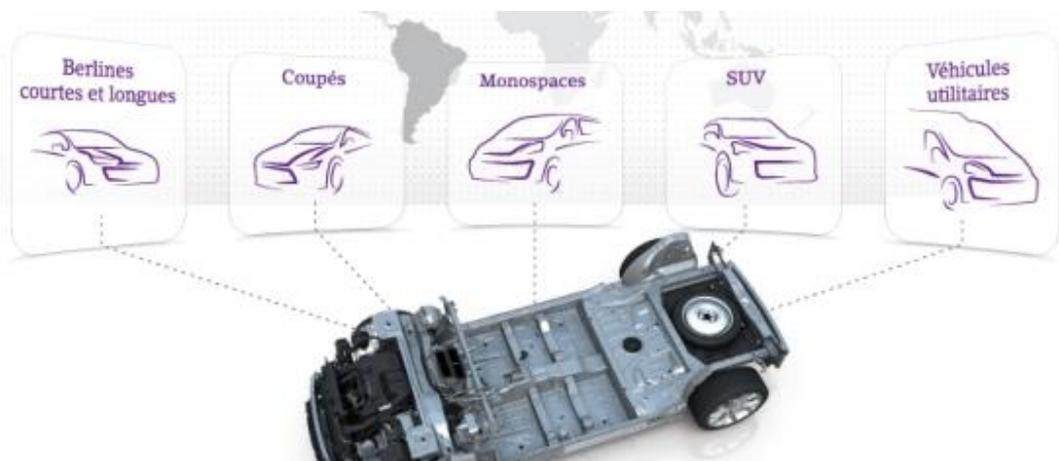


Figure 24 : plateforme MQB de Volkswagen : châssis unique aux différents modèles (Berlines courtes et longues, Coupés, Monospaces, SUV et Véhicules utilitaires).

Depuis, cette démarche s'est également étendue à d'autres marchés tels que celui du téléphone portable, citons par exemple le projet Ara de Google (Figure 25).



Figure 25 : prototype du Smartphone modulaire du projet ARA de Google (source : <https://www.nextinpact.com/news/101227-projet-ara-google-cesse-developpement-son-smartphone-modulaire.html>).

Si la modularité dans le secteur automobile est très répandue et performante, en revanche le projet Ara mentionné ci-dessus a été abandonné. En effet dans ce dernier cas, la modularité impliquait de changer les composants du téléphone, ce qui nécessitait des compétences particulières de la part des utilisateurs mais surtout une volonté de vouloir le faire⁵. Cet abandon peut sembler surprenant compte tenu de la tendance actuelle à la personnalisation des produits quels qu'ils soient comme les chaussures ou les sacs à mains. Mais dans le cas du projet Ara, personnalisation signifiait « faire soi-même » et non sélectionner un ensemble de fonctionnalités qui seraient implémentées par le constructeur. En somme la modularité est un atout indéniable pour les industriels et l'est également pour les utilisateurs tant qu'ils ne sont pas sollicités pour la mettre en œuvre par eux-mêmes.

3. *Acceptabilité Fonctionnelle*

Ce principe est issu du modèle de l'acceptabilité de Nielsen (1993) (voir section 2.2.2 de ce chapitre). Il repose sur la nécessité d'analyser les besoins afin de concevoir un produit utile répondant aux critères de l'utilisabilité (ISO 9241-11).

4. *Accessibilité*

Ce principe implique d'étendre l'acceptabilité fonctionnelle à plusieurs catégories de publics, de façon cohérente avec la stratégie de croissance définie dans l'approche marketing de niche.

5. *Stratégie d'intégration sociale*

Ce principe est issu du design industriel et renvoie à l'image de produit auprès des différentes catégories d'utilisateurs, à sa dimension esthétique et à l'intégration dans l'environnement social et sociétal.

Cette méthode a été déployée sur différents projets tels que le projet « Adap'table » (Plos, 2011 ; Plos et al., 2012 ; Buisine, 2013) qui est une table multifonction pour laquelle l'analyse

⁵ Source : <https://www.numerama.com/tech/175239-lenovo-moto-z-et-moto-mods-enfin-un-peu-dinnovation-sur-le-marche-des-smartphones.html>

des besoins a été réalisée auprès d'étudiants, d'aidants en hôpitaux, de personnes en situation de handicap et de seniors hospitalisés (Figure 26).

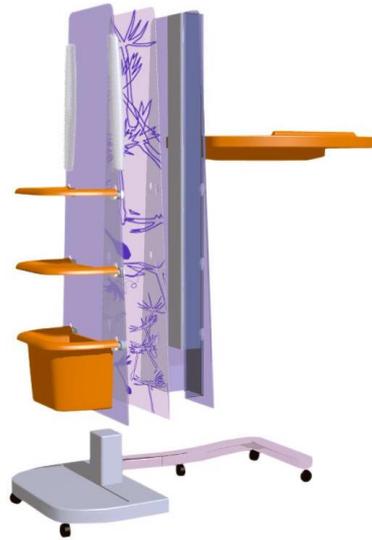


Figure 26 : table multifonction issue du projet « Adap'Table » (Plos, 2011 ; Plos et al., 2012).

2.2.4.3. La méthode CARACTH

Les travaux de Thomann (2016) soulignent également la nécessité d'une co-conception, notamment lorsqu'il s'agit de concevoir des produits pour des personnes en situation de handicap. Il a proposé la méthode CARACTH permettant de systématiser les caractéristiques des personnes en situation de handicap dans les processus de conception de produits (Figure 27).

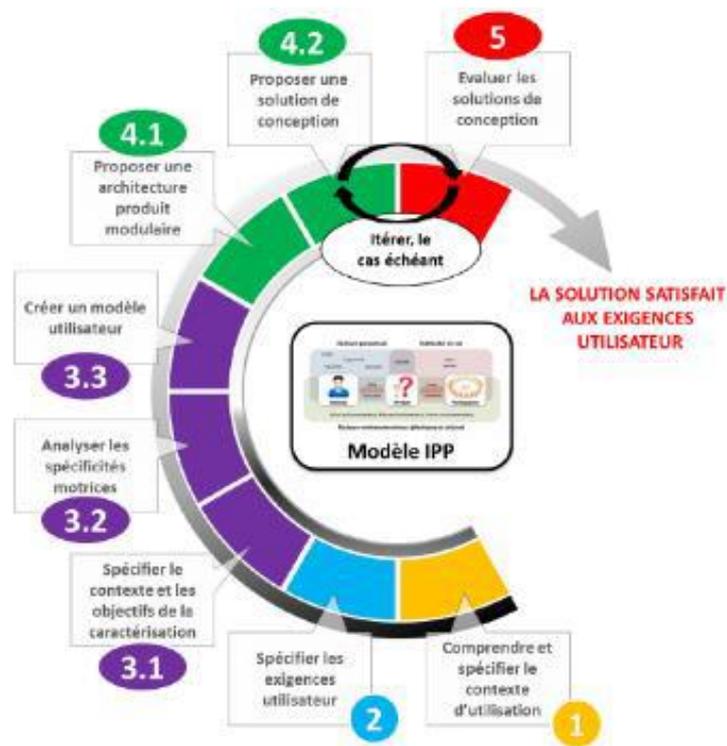


Figure 27 : processus de conception CARATH.

Cette méthode est composée de 5 étapes et permet grâce à la conception modulaire de concevoir des produits adaptés aux besoins et capacités des usagers.

Les 5 étapes sont les suivantes (Veytizou, 2015) :

Etape 1 : comprendre et spécifier le contexte d'utilisation

L'objectif de cette première étape est d'identifier les caractéristiques de différents groupes d'usagers pouvant interagir avec le produit et le contexte lié. Tout comme pour la méthode EMFASIS (Plos, 2011 ; Plos et al., 2012 ; Buisine, 2013) le but est d'étendre l'acceptabilité fonctionnelle du produit. L'analyse du contexte fournissant des indicateurs sur l'intégration physique et sociale du produit.

Etape 2 : spécifier les exigences utilisateur

En complément de l'analyse du contexte, il est essentiel de considérer les exigences des utilisateurs à l'égard du contexte d'usage.

Etape 3 : caractériser les spécificités motrices

Cette étape se découpe en trois sous-étapes.

Suite à l'analyse des caractéristiques motrices de l'utilisateur et à la contextualisation de l'usage, l'équipe de conception propose une modélisation de l'utilisateur à travers des données statistiques, des graphiques ou de rapport.

Etape 4 : solutions

Cette étape comprend deux sous-étapes.

Les solutions proposées comprennent une architecture modulaire permettant ainsi d'adapter et de personnaliser le produit aux caractéristiques motrices des utilisateurs.

La création de scénarii d'usage permet de déterminer l'usage réel et ainsi de préciser la solution finale intégrant la modularité.

Etape 5 : évaluer les solutions de conception

L'objectif de cette dernière étape est d'évaluer les solutions de conception auprès des utilisateurs. Cette phase peut être itérative si les solutions proposées ne conviennent pas au panel d'utilisateurs. »

2.2.5. Les limites de la conception universelle

De notre point de vue, trois facteurs peuvent justifier le fait que la conception universelle ne soit pas plus répandue dans les pratiques de conception des industriels.

2.2.5.1. L'absence de recommandations précises

La première limite concerne l'absence ou la faible diffusion de méthodologie clairement définie et d'outils pour entreprendre un processus de conception universel. Ce point ayant été développé dans les sections précédentes, nous en rappellerons ici uniquement les principales idées. Ainsi, les sept principes de la conception universelle proposent des objectifs globaux à atteindre mais pas de démarche à suivre pour les atteindre. Des démarches structurées ont été proposées récemment par des équipes de recherche mais n'ont pas encore atteint le monde industriel. Cette absence de méthodes amène les industriels à l'envisager comme difficile à appliquer voire utopique (Singh et Tandon, 2016 ; Bady, 2016 ; Mustaquim, 2017).

2.2.5.2. Une pluralité de courants universalistes

La seconde limite concerne la pluralité des courants universalistes existants (voir la revue de questions réalisée par Plos et al., 2007 ; Plos, 2011 ; Figure 28).

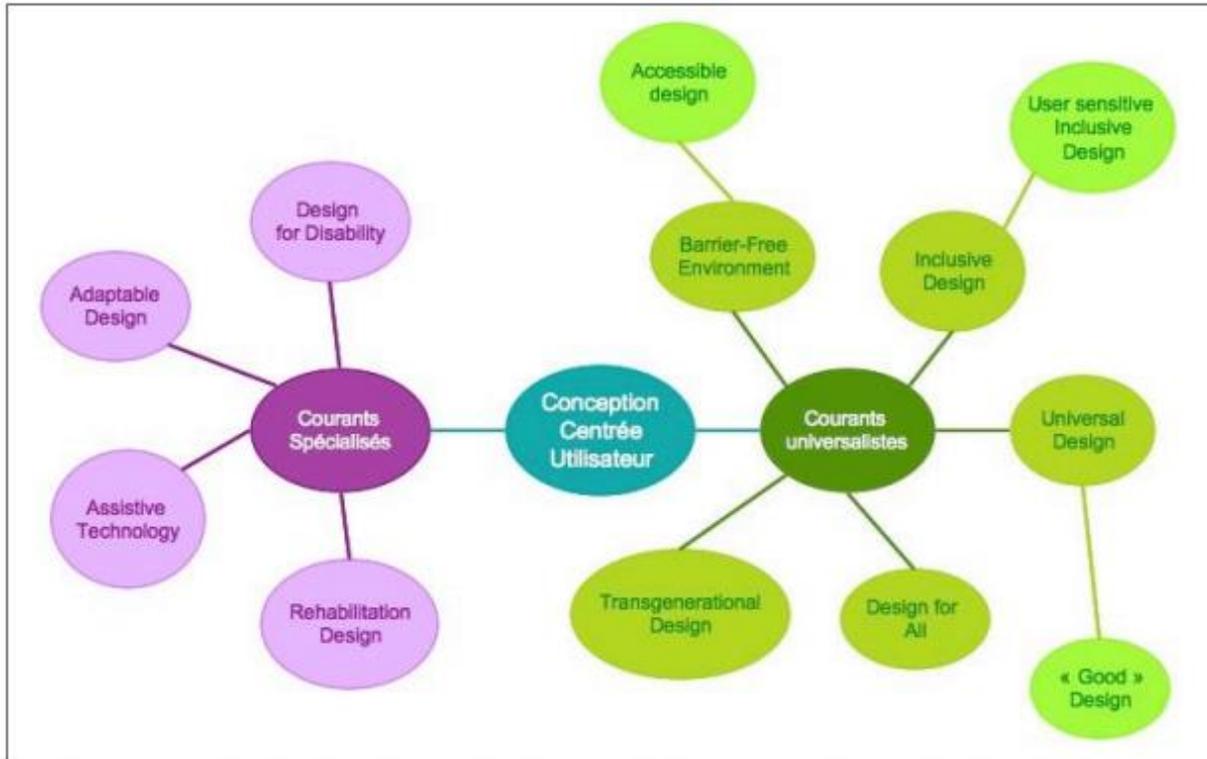


Figure 28 : les courants universalistes (d'après Dupin, 2007 cité par Plos et al. (2007), Plos, 2011).

Cette pluralité a pour effet délétère d'accroître l'incompréhension des industriels mais également des utilisateurs. Il apparaît complexe de saisir les différences entre par exemple l'*universal design*, le *design for all* ou encore l'*inclusive design*. Cette multitude de terminologies est susceptible de réduire la visibilité et la crédibilité du domaine. Par exemple, des sites spécialisés respectivement dans l'*Inclusive Design* (Keates et Clarkson, 2004 cités par Plos et al., 2007) et dans la conception universelle citent tous les deux les produits OXO Good Grips comme exemples illustratifs (Figure 29).



What is Universal Design

Definition and Overview

The 7 Principles

Case Studies and Examples

Examples

OXO Good Grips

Oven with Liftmatic door

Fold-away oven door

POP food storage

Adjustable washbasin

OXO Good Grips

The OXO "Good Grips" range of kitchen utensils began with a goal: to produce a vegetable peeler that was easy to hold and use, regardless of strength or manual dexterity. This resulted in OXO applying a Universal Design approach when designing any of their kitchen products.

Read more about OXO "Good Grips" in the [case study](#) on this site.



Figure 29 : en haut les produits OXO présentés comme issus du design inclusif (<http://www.inclusivedesigntoolkit.com>) en bas issus de la conception universelle (<http://universaldesign.ie/>).

Cet exemple illustre parfaitement la confusion qui pourrait amener les industriels à considérer ces approches comme peu sérieuses et sans intérêt en raison de leur manque d'ancrage.

2.2.5.3. Conception universelle au service du handicap

La dernière limite est liée au fait que la conception universelle est majoritairement utilisée dans la conception de produits destinés aux personnes en situation de handicap ou aux seniors (Bady, 2016 ; Singh et Tandon, 2016) où l'aspect esthétique est bien souvent négligé au profit de l'accessibilité. Or un produit inesthétique voire connoté « handicapé » n'est pas utilisé par le grand public (Aslaksen et al., 1997), ou comme l'indiquait Loewy (1990) « la laideur se vend mal ». Plus encore, ces produits peuvent même être considérés comme stigmatisants, en effet, si un produit possède des caractéristiques spécifiques ne ressemblant pas aux produits grand public, il stigmatise ses utilisateurs qui sont immédiatement identifiés comme porteurs d'une déficience. A titre d'exemple, citons la Toyota Raum, véhicule qui devait faciliter la conduite et être accessible (sièges amovibles et rotatifs...) mais qui fut un échec commercial. En effet la marque a axé son spot publicitaire sur l'accessibilité pour les personnes âgées et personnes en situation de handicap, ce qui en a fait un produit non attractif pour le grand public, et stigmatisant pour les seniors et les personnes en situation de handicap. A l'inverse, en partenariat avec la d.school Paris, Lapeyre a développé une gamme de salles de bain « Concept care » (Figure 30) à partir de l'observation de la toilette matinale chez plusieurs seniors (Mathieu et Hillen, 2016). Ils ont ensuite conçu la salle de bain en proposant des modules issus des analyses, par exemple un meuble sous le lavabo qui fait office de rangement et de siège. En effet, ils ont observé que l'habillement implique de faire des allers-retours entre la salle de bain et la chambre pour les seniors qui ont besoin de s'asseoir pour se vêtir. Le siège inclus dans le meuble de salle de bain est donc susceptible de leur faciliter le quotidien sans prendre de place supplémentaire. Il peut aussi être utile dans les familles avec de jeunes

enfants qui ont besoin d'un marchepied pour atteindre le lavabo. Autre exemple, le miroir n'étant pas fixé au mur, si besoin, l'utilisateur peut l'avancer plus près de son visage : cette fonctionnalité peut rendre service aux seniors en raison de leur baisse de vision mais aussi aux femmes en général pour se maquiller. Ainsi, ils proposent une salle de bain utile et fonctionnelle pour tous en répondant aux besoins des seniors. De surcroît, dans leur spot publicitaire, ils présentent les caractéristiques du meuble de salle de bain à travers plusieurs contextes d'usages et de profils utilisateurs et pas uniquement comme un produit s'adressant aux personnes âgées. Ils valorisent également la fabrication française.



Figure 30 : à gauche : la Toyota Raum ; à droite : la salle de bain « Concept care » de Lapeyre.

En outre, le fait que la conception universelle soit associée au secteur du handicap, elle apparaît peu rentable socio-économiquement pour les industriels. En effet, Odeck et al. (2010) avancent quatre arguments utilisés par les planificateurs pour justifier qu'ils ne soumettent pas les projets orientés conception universelle aux analyses coût / bénéfices: 1) ces projets s'adressant aux personnes en situation de handicap et étant obligatoires, dès lors aucune évaluation économique n'est requise, 2) ces projets sont reconnus comme engendrant peu de bénéfices (proportionnels au nombre d'utilisateurs) alors que le coût de leur investissement est élevé, ils sont donc non rentables, 3) il n'existe aucune procédure appropriée pour conduire une analyse coût / bénéfice pour de tels projets et, 4) même s'il existe des procédures, les bénéfices de la conception universelle étant financièrement difficile à quantifier, l'analyse demeure impossible.

2.2.6. En conclusion

Dans cette section nous avons abordé la conception universelle. Ce courant existe depuis plus de 20 ans et est plus que jamais d'actualité. The Guardian a publié en 2018 un article intitulé « Accessible cities. What would a truly disabled-accessible city look like ?⁶ », dans lequel sont recensées des villes telles que Singapour qui depuis 2007 conçoit ses bâtiments dans une logique universelle ou encore Washington DC avec ses 91 stations de métro 100% accessibles. La conception universelle ne concerne pas uniquement le champ du handicap même si grâce à lui, de nombreuses avancées ont été réalisées, nous pensons notamment à la Loi de 2005 pour « l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes

⁶ Source : <https://www.theguardian.com/cities/2018/feb/14/what-disability-accessible-city-look-like>

handicapées ». Néanmoins, cette démarche est encore trop peu exploitée, notamment dans les produits grand public, nous expliquons cela par un triple constat : 1) la conception universelle est parfois perçue comme difficile d'application voire utopique (Singh et Tandon, 2016 ; Bady, 2016 ; Mustaquim, 2017), 2) les industriels se la représentent comme centrée uniquement sur les personnes en situation de handicap et donc potentiellement non rentable, et 3) bien que la littérature avance que les produits universels peuvent aussi bénéficier aux publics valides, cela n'a pas été démontré scientifiquement. Selon nous, l'enjeu actuel majeur est de valoriser cette démarche notamment auprès des industriels. En effet, nous sommes convaincus que la conception universelle peut non seulement contribuer à la conception de produits attractifs pour le grand public mais également être un levier pour l'innovation. Ainsi, dans la dernière section de cet état de l'art nous traiterons la problématique de l'innovation sous l'angle des usages ; comment l'analyse et la compréhension des usages d'utilisateurs à besoins spécifiques peut être source d'innovation pour les industriels ?

2.3. L'innovation

L'objectif de cette section est de définir ce qu'est l'innovation et de présenter les différentes stratégies que les entreprises ont à leur disposition pour être innovantes. Nous verrons que les stratégies centrées sur les usages sont les plus performantes. Nous proposerons des méthodes favorisant l'innovation par les usages. Nous terminerons en mettant en exergue les limites portant sur la sous-évaluation du potentiel lié à l'intégration des usagers extrêmes dans les boucles de conception, non pas pour l'innovation dans les produits adaptés mais pour des produits grands publics.

2.3.1. Présentation de l'innovation

2.3.1.1. Historique et définition

Etymologiquement le mot « innovation » provient du latin « *innovare* » qui signifie « revenir à, renouveler ». *Innovare* est composé du verbe « *novare* » qui signifie « changer, nouveau » et du préfixe « *in* » qui souligne un mouvement vers l'intérieur. Ainsi l'innovation apparaît comme une chose en mouvement. Au Moyen-Age le terme innovation était employé dans le secteur juridique et signifiait « introduire quelque chose de nouveau dans une chose établie », puis vers le 16^{ème} siècle le terme signifie ce qui est surprenant, inattendu⁷. Ce n'est qu'au 20^{ème} siècle que le terme « innovation » a été envisagé comme nous l'entendons actuellement avec son impact économique grâce à Schumpeter (Schumpeter, 1939) qui le définit comme « la mise en place d'une nouvelle fonction de production ». Plus récemment, l'OCDE (2005) en donna la définition suivante « mise en œuvre d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques de l'entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures » (Figure 31) qui est, à ce jour, la définition de référence.

⁷ Source : <https://fr.scribd.com/document/337388454/Origins-of-concepts-and-theories-on-innovation-and-entrepreneurship>

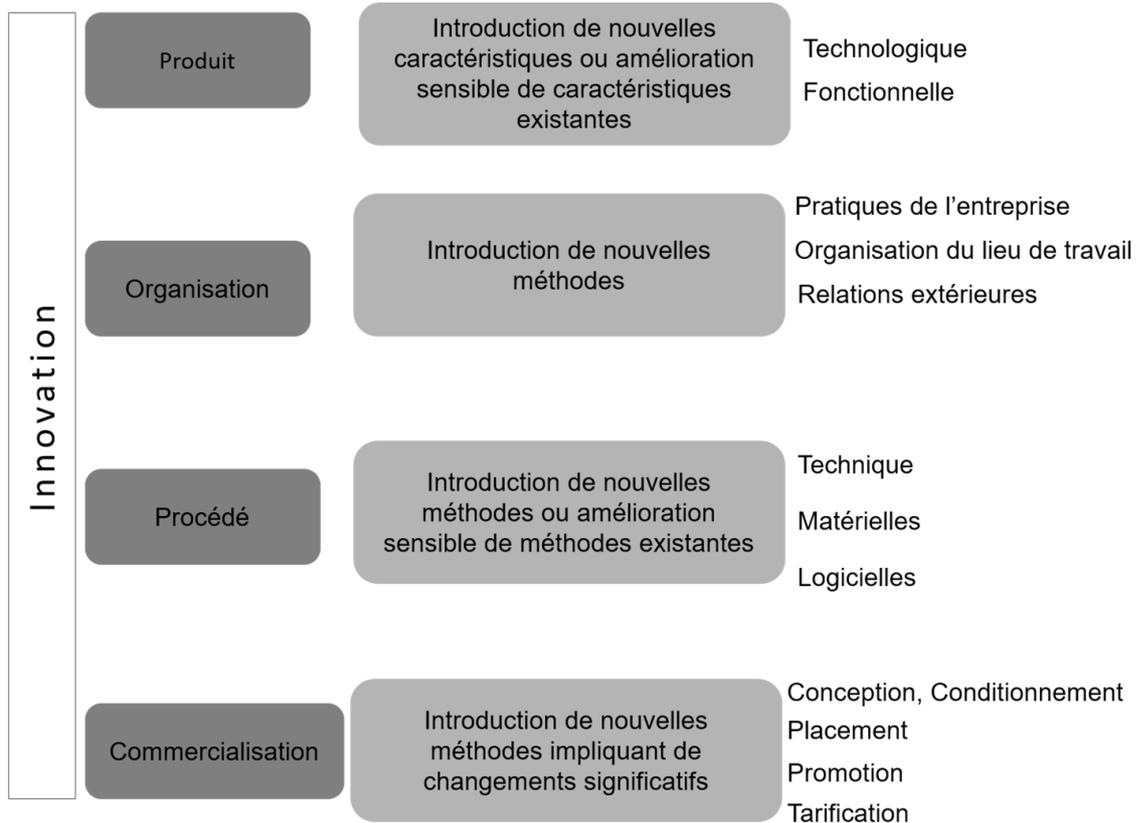


Figure 31 : les quatre domaines d'innovation (Manuel d'Oslo OCDE, 2005).

Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons plus particulièrement à l'innovation de produits (Figure 32). Cela consiste soit à créer un produit technologiquement nouveau (innovation de rupture), soit à améliorer technologiquement les produits existants (innovation incrémentale).

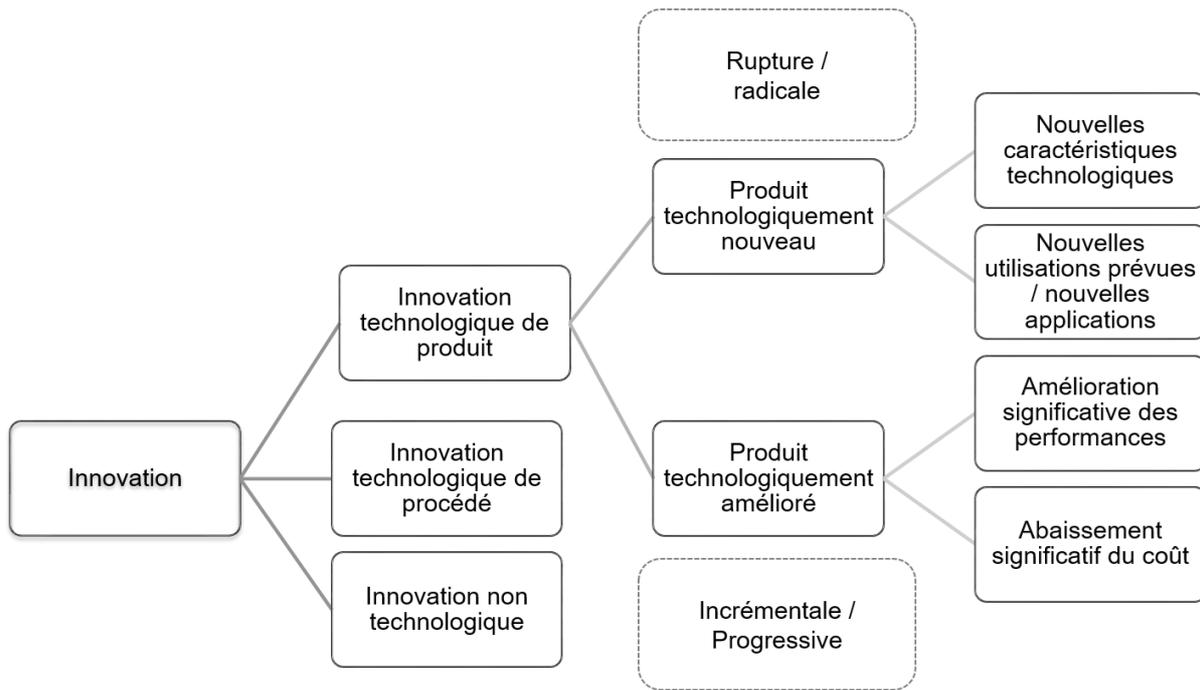


Figure 32 : innovation de produits (d'après OCDE, 1997).

L'innovation de rupture (radicale)

Christensen (1997) définit l'innovation de rupture « comme celle qui crée, transforme ou détruit un marché » (Guellec, 2015). Elle consiste soit à créer un produit comprenant de nouvelles caractéristiques technologiques, comme par exemple la Swatch (Figure 33) commercialisée en Europe le 1^{er} mars 1983 après 3 années de Recherche et Développement afin de mettre un terme à la crise horlogère Suisse subvenue dans les années 70 (Garel et Mock, 2016).



Figure 33 : la Swatch, une innovation de rupture.

L'autre versant porte sur de nouveaux usages ou applications d'une technologie existante comme par exemple l'iPad d'Apple sorti en 2010. La première tablette tactile a été créée en 1987, il s'agissait de la Linus Write-Top qui pesait 4kg et coûtait 2700 dollars, s'en est suivi la Samsung GridPad 1919 sorti en 1990 (Figure 34). Avec l'iPad, Apple a permis l'intégration de cette technologie dans les usages et la création de nouveaux usages.



Figure 34 : iPad, une innovation de rupture d'usage.

L'innovation incrémentale (progressive)

L'innovation incrémentale porte soit sur l'amélioration significative des performances d'un produit (ajout de nouvelles fonctionnalités) comme par exemple Herman Lay qui a proposé des chips avec plusieurs goûts (fromage barbecue, etc.) soit sur l'abaissement significatif du coût de vente (produits low cost) comme par exemple la compagnie aérienne Hop ! (Figure 35).



Figure 35 : à gauche : les chips Lays, une innovation incrémentale d'amélioration des produits ; à droite : la compagnie aérienne Hop !, une innovation incrémentale d'abaissement de coût.

2.3.1.2. Stratégies d'innovation

Suite à l'étude intitulée « Global Innovation 1000 » menée auprès de 1000 entreprises mondiales, Jaruzelski, Staack et Goehle (2007-2014) ont formalisé trois stratégies d'innovation, respectivement Technology Drivers, Market Readers et Need Seekers.

Technology Drivers

Les entreprises qui suivent une stratégie Technology Drivers (ex : Google, Siemens, Bosch) développent des produits à partir de leurs propres compétences technologiques, pour ce faire, elles déploient une activité Recherche et Développement très importante (Figure 36) (Jaruzelski et al., 2014 ; Buisine, 2016 ; Buisine et al., 2017).

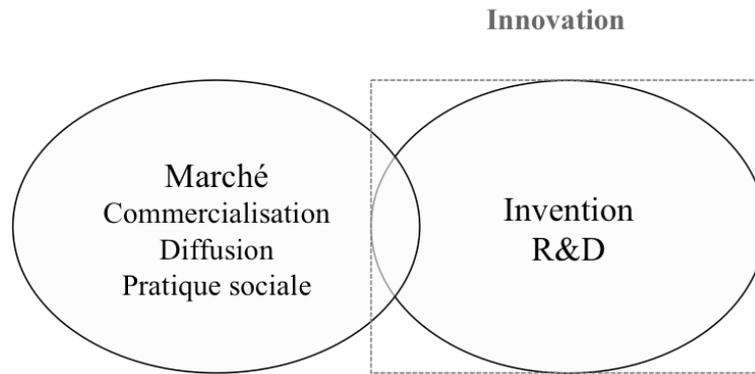


Figure 36 : stratégie d'innovation « Technology Drivers ».

Ces entreprises misent sur leur expertise interne, ce type stratégie est propice aux innovations de rupture.

Market Readers

Les entreprises qui suivent une stratégie Market Readers développent des produits par une surveillance permanente du marché et des concurrents mais aussi et surtout en écoutant les besoins des futurs utilisateurs (Figure 37). Ces entreprises font appel aux utilisateurs pour générer de nouvelles idées.

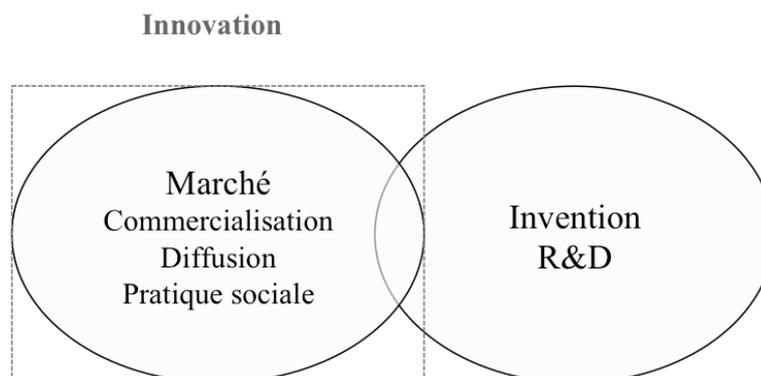


Figure 37 : stratégie d'innovation « Market Readers ».

Ce type de stratégie permet de créer de la valeur par de l'innovation incrémentale et de la personnalisation de produits. Cette stratégie est similaire à l'approche de la conception centrée utilisateurs (ISO 13407, 1999 ; ISO-9241-210, 2010) utilisée en ergonomie (Buisine et al., 2017).

Need Seekers

Les entreprises qui suivent une stratégie Need Seeker développent des produits par une recherche et une identification des besoins non exprimés, afin d'y apporter une solution (Figure 38). Pour cela, ils utilisent de nombreuses techniques pour générer de nouvelles idées, tels que l'Open Innovation (Chesbrough, 2003) ou encore le Crowdsourcing (Howe, 2006) (Jaruselski et al., 2014 ; Buisine, 2016, Buisine et al., 2017).

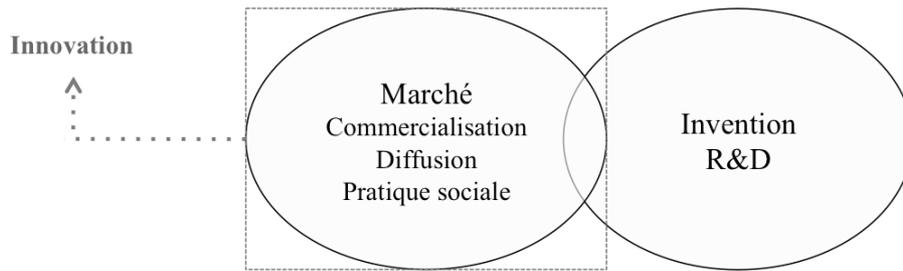


Figure 38 : stratégie d'innovation « Neek Seekers ».

Ce type de stratégie est propice aux innovations de rupture centrées sur les usages et la qualité fonctionnelle des produits (Jaruselski et al., 2014, Buisine, 2016, Buisine et al., 2017). Elle est proche de l'ergonomie prospective (Brangier et Robert, 2010, 2013, 2014 ; Robert et Brangier, 2009, 2012) qui est définie comme « étant une modalité d'intervention ergonomique qui consiste à anticiper les futurs besoins, usages et comportements ou à construire les futurs besoins, en vue de créer des procédés, produits ou services qui leurs sont bien adaptés » (Brangier et Robert, 2014). L'ergonomie prospective s'étaye donc sur l'analyse ergonomique, l'hypercréativité et la prospective (Brangier et Robert, 2015, Figure 39).

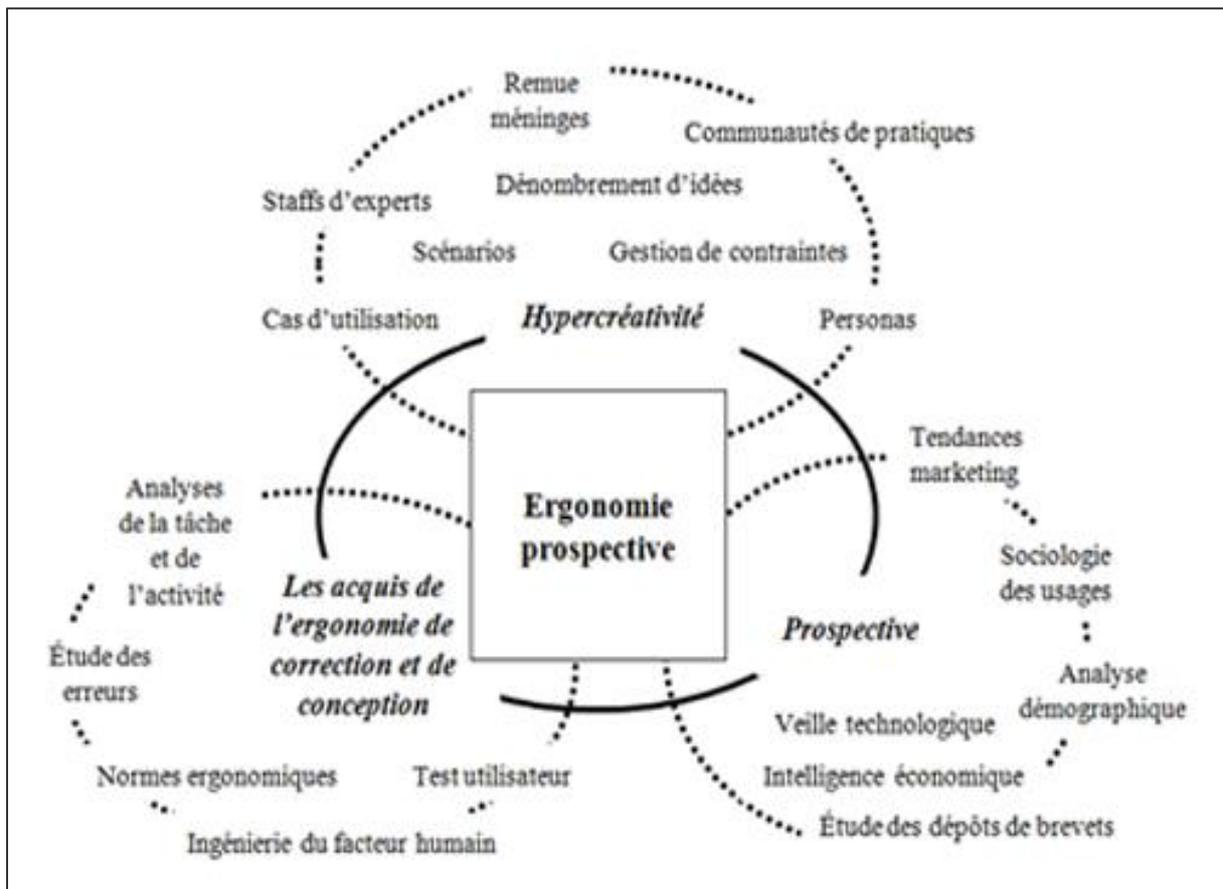


Figure 39 : articulation de l'ergonomie prospective entre les acquis de l'ergonomie de correction et de conception, l'hypercréativité et la prospective (d'après Brangier et Robert, 2015).

Jaruselski et ses collaborateurs (2014) ont mesuré la performance de ces trois stratégies à partir de quatre indicateurs : politique d'innovation, business et stratégie, financier et compréhension des besoins (Figure 40).

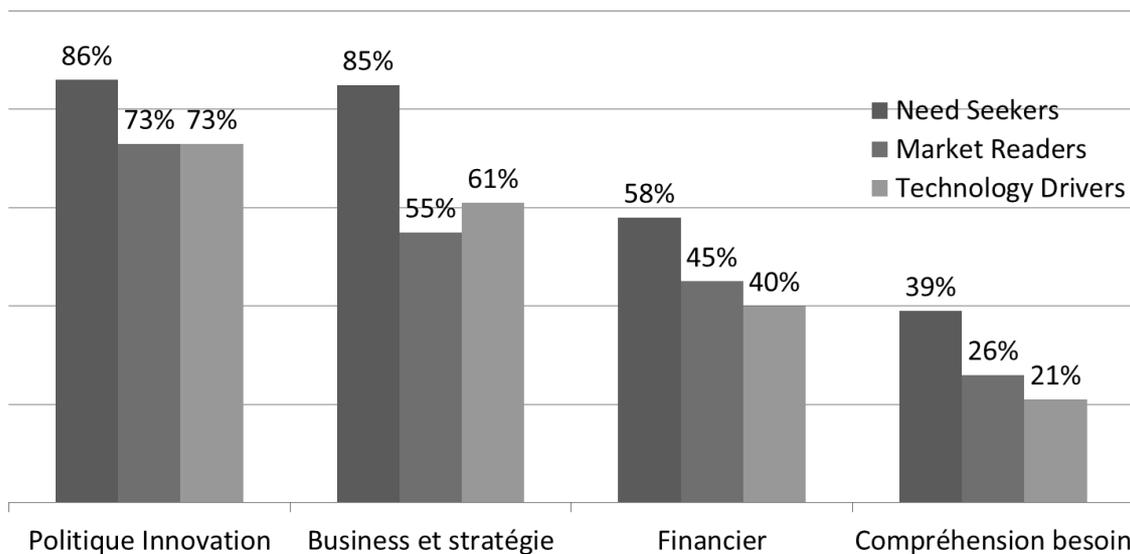


Figure 40 : performance des 3 stratégies d'innovation selon les indicateurs de politique d'innovation, de business et stratégie, financier et de compréhension des besoins (Jaruselski et al. 2014).

Il en résulte que la stratégie Need Seekers est la plus performante sur l'ensemble de ces indicateurs, notamment pour la compréhension des besoins (39%) comparativement à la stratégie Technology Drivers (21%). Néanmoins, la Figure 41 illustre que la stratégie Technology Drivers est la plus employée au niveau mondial (38%) et atteint même un taux de 60% en France. Alors que dans la Silicon Valley, la stratégie dominante est celle des Need Seekers (46%) (Péladeau et al., 2013).

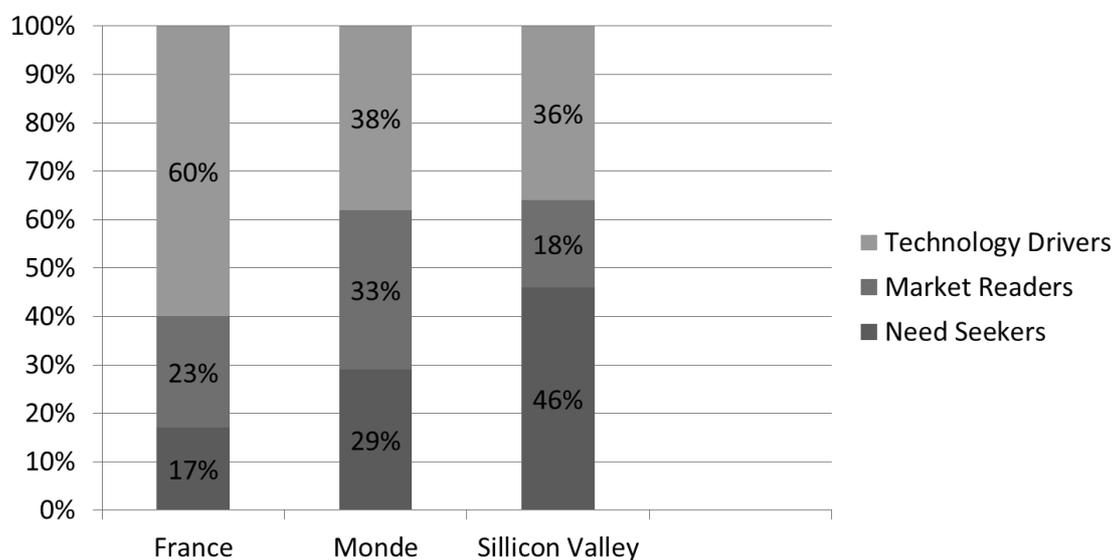


Figure 41 : stratégie d'innovation dominante en France, dans le monde et dans la Silicon Valley (Péladeau et al., 2013).

En France, l'innovation est historiquement liée à la R&D (Beylat et Tambourin, 2013) expliquant pourquoi la stratégie Technology Drivers est à 60% dominante dans notre pays. Or, Davies et Buisine (2017) soulignent l'écart entre les indicateurs de mesure de la R&D

(investissement, dépôt de brevets, ...) et ceux de l'innovation centrés sur les gains financiers liés aux nouveaux produits, licences de brevets, à l'exportation, etc.

2.3.2. Les méthodes

Même si la stratégie Need Seekers est la plus performante, notamment en termes de compréhension et de créations de besoins des usagers, nous avons vu qu'elle est la moins employée en France. Pour de nombreuses personnes, elle repose sur des dirigeants d'entreprises au profil visionnaire, des « leaders » comme par exemple Steve Jobs ou James Dyson. Dans cette section, nous proposons des méthodes qui permettraient à tout type d'entreprise de déployer une telle stratégie. Ces méthodes reposent sur l'innovation centrée sur les usages et s'inscrivent dans la prospective.

2.3.2.1. Les méthodes d'open innovation et de co-création

L'innovation par les usages s'inscrit dans la mouvance de l'open innovation qui est définie comme « le recours volontaire aux flux entrants et sortants de savoirs pour, respectivement, accélérer l'innovation interne, et développer les marchés pour un usage externe de l'innovation. Ce paradigme suppose que les entreprises peuvent et doivent accueillir des idées externes aussi bien qu'internes, et considérer des chemins internes et externes vers le marché, puisqu'ils envisagent de faire progresser leur technologie » (Chersbrough, 2003, 2006). Dans ce cadre, le recueil d'idées de la part des usagers peut donner lieu à une approche Market Reader (si l'idée concerne l'amélioration de produits existants) ou Need Seekers (si l'idée concerne un nouveau produit ou un nouvel usage). La co-création et l'intégration des usagers dans les processus d'innovation permet en effet aux concepteurs d'identifier les besoins reconnus mais aussi et surtout ceux qui ne sont pas encore reconnus (Lobbe, Bazzaro et Sagot, 2016).

2.3.2.2. La méthode des « lead users »

L'approche Need Seekers sera d'autant plus efficace que les usagers intégrés dans le processus seront capables de formuler des besoins actuellement non identifiés. La méthode des « lead users » (utilisateurs pilotes en français) a été développée en par von Hippel (1999, 2005), économiste au MIT Sloan School of Management. Les lead users sont des usagers qui, face à leur besoin particulier, vont imaginer des solutions susceptibles de répondre à des besoins plus largement répandus. Ces besoins seront par la suite généralisés et exprimés par un grand nombre de personnes : nous observons une création de marché.

Ainsi, si nous nous référons à la courbe de diffusion de l'innovation de Rogers (1995), les lead users sont positionnés avant même qu'une solution commerciale existe (Figure 42).

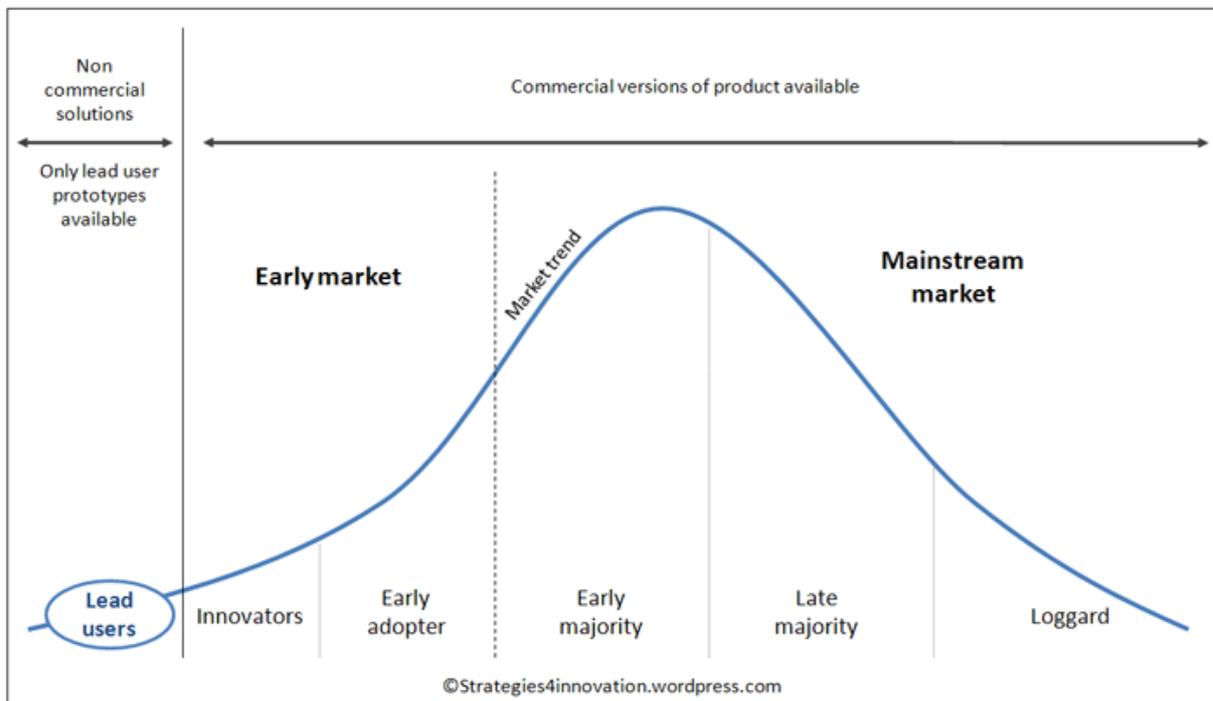


Figure 42 : courbe de diffusion d'une innovation (Rogers, 1995).

En somme, les lead users présentent deux caractéristiques (von Hippel, 1988 ; Franke et al., 2006): 1) être avant-gardiste d'une tendance, en effet, ils expriment très tôt un besoin que beaucoup d'utilisateurs partagent sans l'avoir explicité, et 2) avoir un fort intérêt à innover par eux-mêmes, c'est-à-dire qu'ils possèdent des compétences pour développer la solution à leurs besoins. Pour les entreprises, l'enjeu est d'identifier des utilisateurs lead users afin de les intégrer dans leur processus d'innovation.

La difficulté est liée à la mise en œuvre difficile et au temps de recrutement importants des lead-users qui peut prendre jusqu'à une demi-année (von Hippel, Thomke, Somnack, 1999 ; von Hippel, 2005), en outre, le temps d'analyse des données et le coût sont conséquents (Pajo, Verhaegen, Vandevenne et Duflou, 2015) et peuvent être en décalage avec les réalités temporelles et commerciales des entreprises.

2.3.2.3. La méthode des « persona »

Étymologiquement le terme « persona » provient du latin « personare » qui signifie « parler à travers ». Pour Cooper (1999), à l'origine de cette méthode, « les persona ne sont pas des personnes réelles, mais ils les représentent au cours du processus de conception. Ils sont des archétypes hypothétiques d'utilisateurs réels. Bien qu'ils soient imaginaires, ils sont élaborés avec rigueur et précision » (p.124).

Selon Bornet et Brangier (2013) les persona sont des modèles d'utilisateur employés comme des outils de communication au sein des équipes projets favorisant la prise de décision et la prospective. De plus, suite à ses travaux sur l'impact des états émotionnels sur la créativité, Norman (2004) affirme que des persona positifs et attachants favorisent la génération d'idées. En outre, le fait d'inciter les concepteurs à se mettre dans la peau d'un persona et de penser

comme lui aide aussi à la productions de solutions créatives à travers les processus d'analogies et de contraintes (Bonnardel, 2006). Les persona stimulent également l'empathie à travers des processus d'inférences (Harold, 2000).

Cooper et Reinmann (2003) ont identifié quatre profils de persona : 1) l'*user persona* qui correspond à l'utilisateur cible, 2) le *customer persona* qui est l'utilisateur indirect du produit (proche de l'*user persona*), 3) le *severed persona* qui n'est pas l'utilisateur final mais peut affecter l'usage du produit et 4) le *negative persona* qui n'est pas dans la cible et donc pas considéré dans le système de conception. Si nous prenons l'exemple d'un appareil photo destiné à des enfants, les enfants seraient les *user*, leurs parents appartiendraient à la catégorie des *customer* et *severed persona* alors que des adolescents représenteraient les *negative persona*.

Jaouli (2016) propose 6 étapes pour construire un persona (Figure 43).

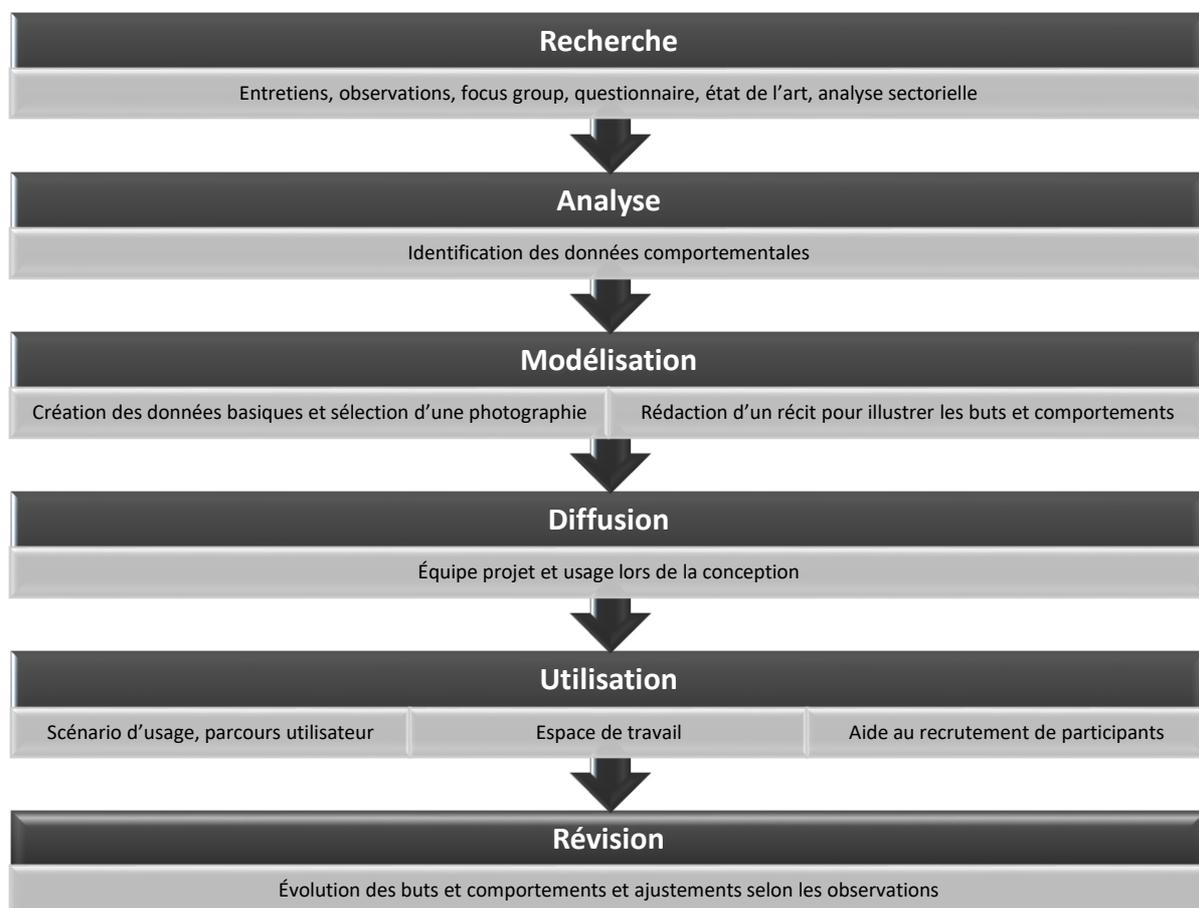


Figure 43 : les six étapes de conception d'un persona (Jaouli, 2016).

La première phase consiste à recueillir les caractéristiques auprès de la population réelle qui permettront de créer le persona ; la seconde phase porte sur l'analyse de ces données pour pouvoir identifier les buts et comportements permettant de créer plusieurs catégories d'utilisateurs et donc de persona ; ensuite, une fois ces variables identifiées, les concepteurs modélisent les persona, la fiche doit a minima contenir : une photographie (accroissement de l'empathie), un prénom, un métier, un âge et un récit illustrant les buts poursuivis et les

comportements. Une fois modélisé, le persona est diffusé puis utilisé au sein de l'équipe projet. Généralement, ils sont affichés afin que tous les membres du projet puissent les voir et interagir à partir de ces derniers. Si nécessaire, ils peuvent être modifiés a posteriori afin d'ajouter de nouvelles connaissances sur les usagers (Pruitt et Adlin, 2010).

Il n'existe pas de gabarit type pour représenter un persona, au-delà des informations minimales à contenir, les concepteurs sont libres d'ajouter du contenu qu'ils jugent approprié, tout comme il n'existe aucune règle de mise en page ou de forme pour la fiche. A notre sens, plus les fiches persona sont attractives plus elles motiveront les membres de l'équipe à les utiliser. La Figure 44 est un exemple de persona.

	Identité	
	Prénom nom : Laurent Brun Age : 43 ans Profession : Cadre Situation familiale : marié Niveau en informatique : usage courant au travail mais limité aux logiciels de bureautique.	
	Caractéristiques	
	<ul style="list-style-type: none"> • Leader • A l'habitude de donner des ordres dans son travail • Souhaite faire gagner du temps à son équipe • Souhaite réduire les coûts administratifs • N'aime pas gaspiller son temps 	
Objectifs	Scénarios	
<ul style="list-style-type: none"> • Economiser sur les frais administratifs • Simplifier la gestion des contrats et des factures 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chercher sur internet un outil ou prestataire pour simplifier certaines tâches 2. Trouver le site de l'outil 3. Utiliser la version gratuite pour vérifier si ça correspond à ses besoins et si c'est simple à appréhender et à utiliser au quotidien 4. Vérifier les prix et calculer le budget pour un tel outil 5. Adopter l'outil et créer un compte pour chaque membre de l'équipe 	

© tonvarchambeau.com

Figure 44 : exemple de fiche persona (source : <https://tonvarchambeau.com/blog/621-fiche-persona/>).

Dans un objectif de conception universelle, ou tout simplement pour accroître le nombre d'idées, il est pertinent de concevoir plusieurs persona avec des attentes et objectifs différents voire contradictoires. En effet, cela a l'avantage d'inciter l'équipe de concepteurs à aller plus loin dans leur réflexion et dans les solutions proposées. Cela permet également d'identifier plusieurs catégories d'usagers et éventuellement plusieurs marchés et d'aider les concepteurs à affiner leur stratégie de commercialisation et de croissance.

Bornet et Brangier (2013) ont mis en exergue cinq attentes relatives à l'usage des persona :

1. Aider à la conception de logiciels et produits de tout type ;
2. Dépasser l'étude de marché ;
3. Fournir des représentations communes des utilisateurs ;
4. Répondre aux besoins des persona pour satisfaire les utilisateurs qu'ils représentent ;
5. Mettre en œuvre un travail collaboratif et une démarche participative.

La limite de cette méthode repose sur sa validation opérationnelle (Bornet et Brangier, 2013) auprès des concepteurs.

2.3.3. Les limites de l'innovation par les usages

Nous relevons deux limites aux méthodes actuelles d'innovation par les usages.

2.3.3.1. Innovation de produits adaptés vs grand public

La première limite est similaire à celle de la conception universelle, en effet, en termes de stratégies d'innovation, les entreprises se positionnent soit sur un marché pour les personnes en situation de handicap ou de publics spécifiques (niche) soit sur un marché grand public (masse). A titre illustratif, prenons le FabLab « La fabrique inclusive », l'objectif de ce Fablab est « d'œuvrer en faveur d'une société inclusive, de permettre la rencontre de publics différents, de les faire travailler ensemble, autour de projets concrets », le problème est que les projets portent sur la fabrication de livrets tactiles, l'adaptation de jeux de société ou la création d'objets quotidiens adaptés. L'implication des personnes atteintes d'un déficit se limite au champ du handicap et n'est pas exploitée pour des innovations grand public.

Conradie, De Couvreur, Saldien et De Marez (2014) ont étudié 18 cas dans lesquels des personnes en situation de handicap ont été recrutées comme « lead users » ; il en résulte que pour la majorité des produits il s'agissait de produits adaptés et non grand public et que les solutions apportées pour les produits étaient incrémentales et non des innovations de rupture.

2.3.3.2. Le Dilemme de l'Innovateur

La seconde limite repose sur le Dilemme de l'innovateur qui a été formalisé par Christensen (1997-2016), à partir d'observations systématiques de l'évolution des marchés, sur plusieurs décennies, et dans des secteurs industriels très variés. Ce phénomène concerne les entreprises leader sur leur marché ayant fidélisé leurs clients et identifié leurs besoins. La création et le développement de produits répondent aux besoins des dits-clients, or, si un jour cette entreprise leader propose un produit radicalement nouveau, les clients (le « marché ») ne se projettent pas dans les nouveaux usages et le rejettent, ce qui entrainera l'abandon de l'innovation radicale par l'entreprise, laissant la place et les parts de marchés aux nouveaux entrants (par exemple : les starts-up) (Figure 45).

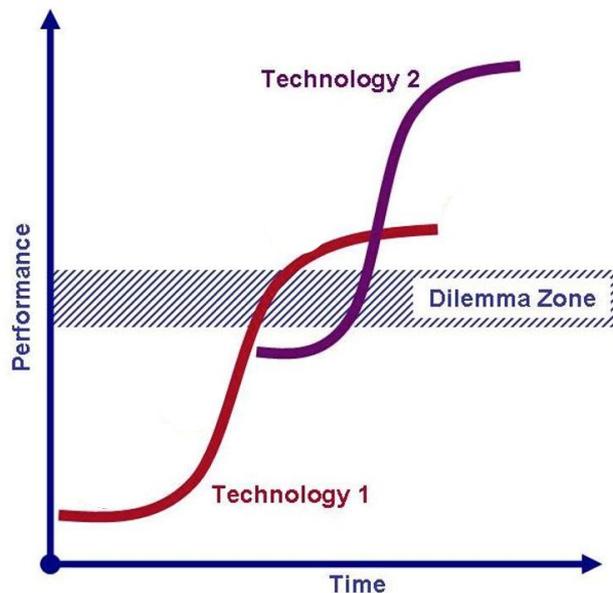


Figure 45 : représentation du Dilemme de l'innovateur (source: Osmotic Innovation, 2012).

In fine, tout l'enjeu pour une entreprise est de savoir prendre le risque de se lancer dans le développement d'un produit dont l'avenir est incertain. Ainsi, comparativement à la courbe de diffusion de l'innovation (Moore, 1991 ; Rogers, 1995), la zone de dilemme apparaît au moment où le produit de l'entreprise est mature tant en termes de technologie que de marché (Figure 46).

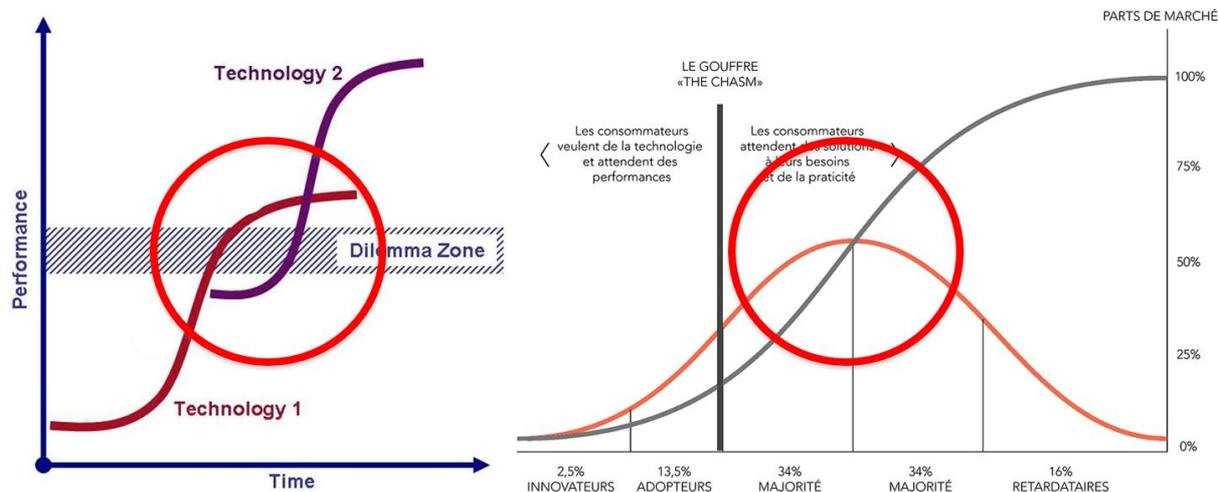


Figure 46 : comparaison entre l'apparition de la zone du Dilemme de l'Innovateur vs la courbe de diffusion d'une innovation; (Christensen,1997-2016 ; Moore, 1991 ; Rogers, 1995) (source: Osmotic Innovation, 2012).

Le Dilemme de l'innovateur concerne principalement les entreprises qui entreprennent une innovation de type Market Readers qui, nous la rappelons, poursuivent des innovations incrémentales en se basant sur l'identification des besoins de leur marché cible. Cette citation de Steve Jobs à propos d'Henry Ford (Isaacson, 2011) illustre parfaitement, le risque des stratégies de type Market Readers : « Je crois que Henry Ford a dit un jour : « Si j'avais demandé à mes clients ce qu'ils désiraient, ils m'auraient répondu : 'Un cheval plus rapide ! » Les gens ne savent pas ce qu'ils veulent tant qu'ils ne l'ont pas sous les yeux. Voilà pourquoi je ne m'appuie jamais sur les études de marché. Notre tâche est de lire ce qui n'est pas encore

écrit sur la page ». Rappelons que Steve Jobs, quant à lui, représente le profil type d'un leader Need Seekers.

2.3.4. En conclusion

L'innovation est aujourd'hui un élément clef de la compétitivité des entreprises. Nous avons vu qu'il existe trois stratégies différentes et que parmi elles, la stratégie Need Seekers est la plus efficace, néanmoins, en France cette dernière est la moins utilisée. Cela est notamment dû au fait que les industriels ne savent pas comment faire pour entreprendre une telle démarche. En outre, les méthodes actuelles de type Technology Drivers sont coûteuses financièrement et temporellement alors que celles plutôt orientées Market Readers sont certes plus efficaces économiquement mais elles sont principalement orientées sur de l'innovation incrémentale. Lorsqu'il s'agit d'une innovation radicale, la stratégie Market Reader risque de mener au Dilemme de l'Innovateur et de bloquer l'innovation radicale.

Chapitre 3

Problématique et hypothèses

Les retombées attendues de cette thèse visent différentes parties prenantes :

- 1) les usagers, et en particulier ceux atteints de déficience visuelle, afin d'améliorer leurs conditions de vie sans augmenter les phénomènes de stigmatisation ;
- 2) les entreprises et plus généralement les concepteurs, afin de trouver les bons leviers d'adoption de la conception universelle ;
- 3) la société, afin de promouvoir la conception de produits universels et la participation sociale de l'ensemble des citoyens.

Face aux difficultés méthodologiques, mais aussi stratégiques, de déploiement de la conception universelle, nous proposons non pas une nouvelle méthode de conception universelle, mais un nouveau modèle d'innovation inspiré de la conception universelle. Si les entreprises ne ressentent pas nécessairement le besoin de concevoir des produits universels, en revanche la plupart d'entre elles ressentent le besoin d'innover. Les enjeux économiques et sociaux liés à l'innovation sont en effet largement diffusés, dans les médias, dans les discours politiques et dans la littérature scientifique (Guillemot et al., 2016 ; Beylat et Tambourin, 2013 ; Midler et al., 2012).

Comme nous allons le développer dans ce chapitre, un modèle d'innovation inspiré de la conception universelle s'inscrirait en outre dans une approche Need Seekers, stratégie d'innovation actuellement reconnue comme la plus performante, mais sous-représentée dans les entreprises françaises. Proposer de structurer et d'outiller un nouveau type d'innovation Need Seekers complèterait la boîte à outils à disposition des entreprises pour alimenter leur processus d'innovation et éviter le dilemme de l'innovateur. Enfin, cela serait un moyen de promouvoir la conception universelle et de faire évoluer le statut des utilisateurs extraordinaires : ils pourraient ainsi être vus non pas comme porteurs de contraintes pour le processus de conception mais comme vecteurs d'innovation d'usage pour l'entreprise et pour le marché.

Notre problématique peut donc être formulée ainsi :

Comment utiliser la conception universelle comme source d'innovation radicale d'usage ?

Pour y répondre, nous posons deux hypothèses :

H1 : le modèle de l'utilisateur extraordinaire

Nous proposons de formaliser un modèle d'innovation Need Seekers inspiré de la Conception Universelle. Ce modèle devra montrer une bonne validité interne, c'est-à-dire mettre en évidence sa capacité à faire émerger de nouveaux besoins. Il devra également satisfaire à des

critères de validité externe, et notamment montrer que les besoins identifiés ne sont pas restreints aux utilisateurs extraordinaires mais sont partagés par l'ensemble des utilisateurs. Ce second point fait l'objet de notre seconde hypothèse :

H2 : un produit conçu à partir des besoins des utilisateurs extraordinaires est une innovation pour tous

D'un point de vue théorique, les besoins issus des utilisateurs extraordinaires peuvent donner lieu à des innovations radicales (nouveaux produits) et à des innovations incrémentales (améliorations significatives de produits existants). Dans le cadre de cette thèse, nos interventions portant sur les produits existants conçus par Tactile Studio, nous serons amenés à tester cette hypothèse sur des innovations incrémentales d'usage, et en particulier sur l'amélioration des produits en termes d'intuitivité.

Développement de l'hypothèse H1 : le modèle de l'utilisateur extraordinaire

Notre modèle d'innovation se base à la fois sur la Conception Universelle et sur la Conception Centrée Utilisateurs. Pour rappel, ce fut Norman, dans les années 80 (Norman et Draper, 1986) qui a introduit le terme de Conception Centrée Utilisateurs (ISO 13407, 1999 ; ISO-9241-210, 2010) afin de qualifier un processus de conception dans lequel l'utilisateur final est impliqué, en amont, via l'identification de ses besoins puis pendant la conception lors de tests utilisateurs durant lesquels il évalue les solutions proposées et suite auxquelles des recommandations d'amélioration sont émises si les solutions ne sont pas satisfaisantes (Figure 47).

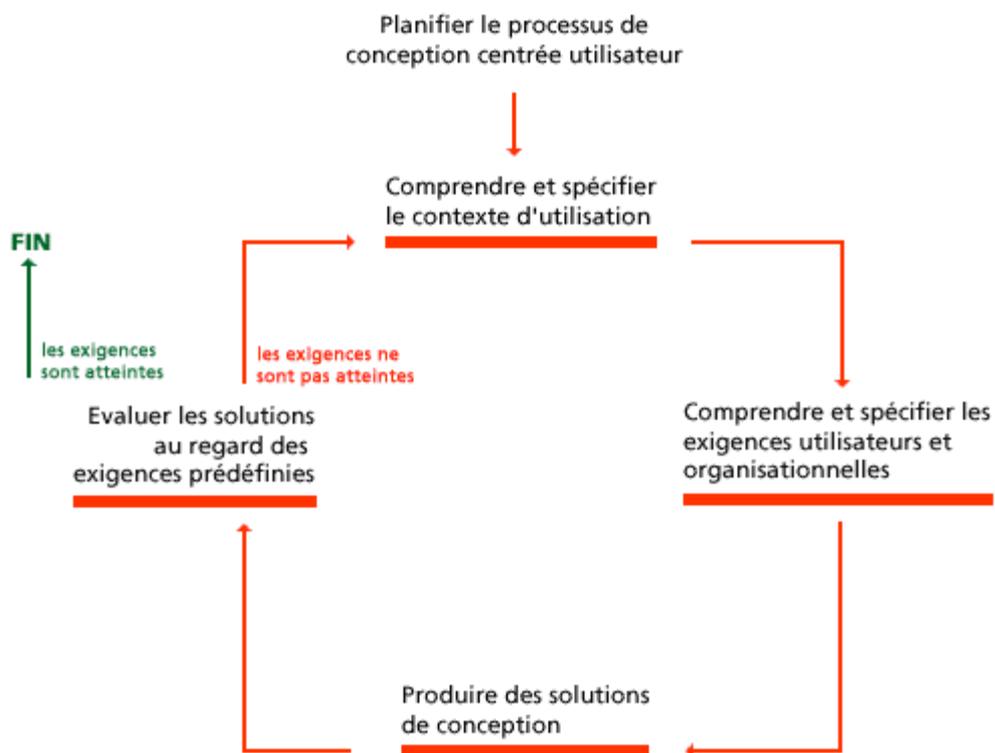


Figure 47 : modélisation de la conception centrée utilisateur (ISO 13407).

En matière d'innovation, la Conception Centrée Utilisateurs peut être rapprochée d'une stratégie Market Reader (stratégie reposant sur l'écoute du marché) et s'avère particulièrement appropriée pour l'innovation incrémentale, c'est-à-dire pour l'amélioration et la personnalisation des produits. Elle est cependant susceptible de se heurter au dilemme de l'innovateur (Christensen, 1997-2016) et de bloquer l'innovation radicale. Notre modèle vise à dépasser cette limite et à s'apparenter à une stratégie Need Seekers (découverte ou création de nouveaux besoins).

Tout comme le processus de conception centrée utilisateurs, le modèle de l'utilisateur extraordinaire repose sur l'inclusion d'utilisateurs dans le processus, la différence réside dans le fait que ces derniers seront « extraordinaires » dans le sens où ils possèdent des besoins particuliers, auxquels nous répondrons en priorité même s'ils ne représentent pas la majorité des utilisateurs du produit (Figure 48).

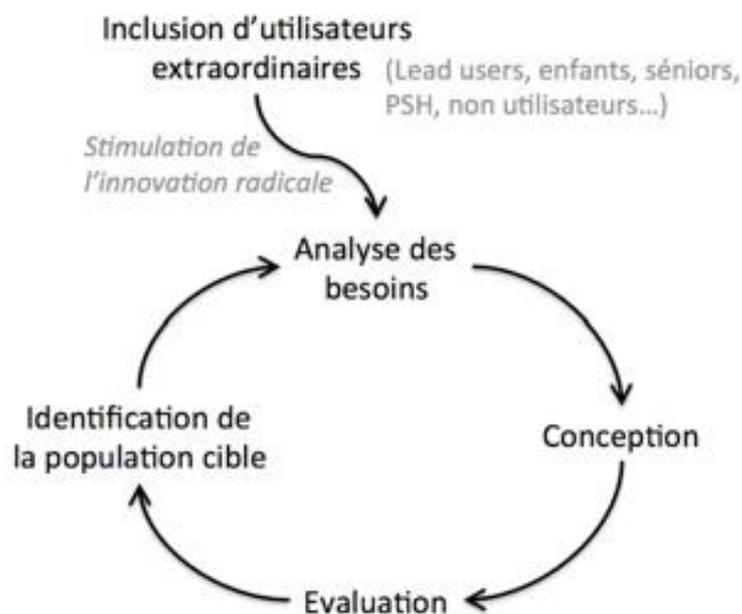


Figure 48 : modèle de l'utilisateur extraordinaire.

Les utilisateurs extraordinaires ont des besoins atypiques du fait de leurs capacités (cognitives, sensorielles, motrices...) qui s'écartent de la norme et/ou du fait qu'ils n'appartiennent pas directement au cœur de cible du produit, en termes de segmentation marketing. Ces utilisateurs extraordinaires peuvent être par exemple des Lead users, des enfants, des seniors, des Personnes en Situation de Handicap (PSH), des non-utilisateurs, etc.

Dans nos expérimentations, les populations « extraordinaires » sur lesquelles nous nous appuyons sont les enfants et les personnes atteintes de déficience visuelle.

Ce modèle est constitué de 4 étapes :

- **analyse des besoins** : analyse et recueil du besoin auprès d'une catégorie d'utilisateurs extraordinaires à travers des entretiens ou des observations. Cette étape vise à stimuler l'innovation radicale et à contourner le dilemme de l'innovateur ;

- **conception** : conception d'un prototype en fonction des propositions créatives issues de la première phase ;
- **évaluation** : test utilisateur du prototype conçu en phase de « conception » avec les mêmes utilisateurs extraordinaires auprès desquels les besoins ont été recueillis en phase initiale. Dans cette étape, nous mesurons également l'intuitivité du produit à travers notre questionnaire d'intuitivité ;
- **identification de la population cible** : réintroduction des utilisateurs finaux afin d'affiner la conception du produit et de nous assurer qu'il satisfait les critères d'utilisabilité et d'acceptabilité (fonctionnelle, sociale, accessibilité) auprès de toutes les catégories d'utilisateurs. Le cycle se poursuit ensuite selon la démarche centrée utilisateur classique.

Ce modèle est proche de la démarche « top-down » (Stary, 1997 ; Plos, Buisine, Dupin, Aoussat et Dumas, 2007).

L'étape initiale d'analyse du besoin des utilisateurs extraordinaires vise à stimuler l'innovation radicale et à contourner le dilemme de l'innovateur. Une fois ces besoins nouveaux identifiés, nous cherchons à y apporter une solution. Les propositions créatives qui en découlent sont ensuite évaluées, toujours en regard des besoins des utilisateurs extraordinaires. Enfin, les utilisateurs ordinaires issus de la population cible sont réintroduits dans la démarche afin d'affiner la conception du produit. Le cycle se poursuit ensuite selon la démarche centrée utilisateur classique.

Pour que cette méthode puisse s'inscrire dans une stratégie Need Seekers, il faut qu'elle permette de découvrir ou de créer de nouveaux besoins. La notion de *besoin* nécessite tout d'abord d'être clarifiée. Il ne s'agit pas ici de rechercher de nouveaux besoins psychologiques car, ceux-ci étant définis comme innés et universels, il semble difficile d'en découvrir ou inventer de nouveaux. Par exemple, dans la théorie de l'auto-détermination (Deci et Ryan, 2000), les méta-besoins psychologiques sont au nombre de trois (besoin de compétence, d'autonomie et de relations sociales) et permettent d'expliquer la motivation humaine. Nous nous intéressons ici davantage aux besoins *fonctionnels*, qui permettent d'expliquer les usages. Nous nous appuyons pour cela sur la classification internationale proposée par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 2001) qui détaille l'ensemble des fonctions corporelles, individuelles et sociétales. Cette classification tenant compte des facteurs environnementaux, l'innovation est susceptible d'avoir une prise directe sur les besoins fonctionnels. Par exemple si les technologies d'intelligence artificielle, les véhicules autonomes ou les réseaux sociaux n'engendrent pas de nouveaux méta-besoins psychologiques (car ils répondent toujours aux besoins de compétence, d'autonomie et de relations sociales), ils font apparaître de nouveaux besoins fonctionnels en matière d'utilisation de la connaissance, de contrôle, de réception et de production d'information.

Or nous défendons l'idée que de nombreuses innovations radicales d'usage peuvent être analysées non pas comme la création de besoins fonctionnels nouveaux, mais comme la redécouverte de besoins fondamentaux. Prenons l'exemple des tablettes tactiles, qui sont porteuses de nombreuses innovations radicales d'usages dans le monde professionnel et la vie quotidienne (ex : métiers de la maintenance, de la vente, réalité augmentée, formation à tous les niveaux, y compris pour les enfants d'âge préscolaire). Ces innovations d'usage

tiennent à la fois au format de l'objet, et à son mode d'interaction : sur ce dernier point, on peut argumenter que l'interaction tactile, la manipulation directe, tangible, n'est pas un besoin fonctionnel apparu récemment mais au contraire un besoin fondamental que nous avons désappris avec d'autres types d'interfaces. En ce sens, on peut considérer que les précédents modes d'interaction humain-machine (ex : soft keys, claviers, souris) constituaient des détours dans la réponse au besoin fonctionnel fondamental d'interaction directe avec l'information. L'évolution technologique a rendu possibles de nouvelles solutions à ce besoin ancien.

La plupart des utilisateurs ayant développé une expertise (ex : maîtrise du clavier et de la souris) pour répondre à ces besoins fonctionnels avec les moyens de leur époque, il est difficile pour eux d'accéder consciemment à ces besoins qui semblent satisfaits et optimisés depuis longtemps. En faisant une analogie avec le domaine du handicap, il serait possible de considérer que ces expertises développées pour des produits imparfaits sont des stratégies de compensation. Une stratégie de compensation est définie comme une manière d'atteindre un but fonctionnel (Cirstea et Levin, 2000) ou un résultat face à une insuffisance ou une limitation (Weiss, Hoening et Fried, 2007). Dans notre analogie, les insuffisances ou limitations considérées sont celles du produit et non de l'utilisateur. Une stratégie de compensation aboutissant à la satisfaction du besoin fonctionnel, les seules catégories d'utilisateurs qui ressentent encore celui-ci et mesurent éventuellement la marge d'amélioration possible sont : ceux qui possèdent un sens critique ou un niveau d'exigence particulièrement élevés (ex : Lead users), ceux qui rencontrent une limitation de leurs capacités (ex : enfants, seniors, personnes en situation de handicap), ou ceux qui n'ont pas eu l'occasion de développer de stratégie de compensation (ex : enfants, non-utilisateurs).

La conception universelle recommande l'inclusion du maximum de diversité concernant les capacités des utilisateurs, mais son objectif reste majoritairement l'accessibilité des produits : l'originalité de notre approche est de l'utiliser dans un objectif d'innovation radicale. En effet l'analyse des besoins des personnes en situation de handicap permet d'approcher des besoins fonctionnels fondamentaux. Lorsque la conception universelle est utilisée avec un objectif d'accessibilité, ce sont surtout des innovations incrémentales qui sont générées (par exemple dans l'électroménager, l'architecture, les transports, cf. Keates et Clarkson, 2004 ; Plos, et al., 2012), et rarement des innovations radicales : à cet égard, la télécommande reste l'exemple le plus emblématique. A l'inverse, lorsque la conception universelle est utilisée avec un objectif d'innovation, elle peut faire émerger des innovations radicales (par exemple dans le domaine des aides techniques, Plos et al., 2012, ou des appareils de fitness, Buisine et al., 2017).

Si nous reprenons, les exemples présentés dans la section sur la conception universelle : la table multifonction Adap'table, les ustensiles de cuisine « OXO Good Grips », la Toyota Raum ou encore les salles de bain « Concept care » de Lapeyre, ces produits sont tous des innovations incrémentales. En effet, les fonctionnalités ont été améliorées grâce à l'inclusion de seniors ou de personnes atteintes d'un handicap mais leur conception n'a ni engendré l'intégration de nouvelles technologies ni de nouveaux usages.

La conception de produits pour les enfants est quant à elle considérée comme une approche de design spécifique (Read et Markopoulos, 2013), qui n'a pas vocation à générer de

l'innovation radicale ou incrémentale pour d'autres catégories d'utilisateurs. Or quelques exemples historiques comme l'invention de l'interface graphique ou du Polaroid (Buisine et al., 2017) suggèrent que les besoins des enfants peuvent aussi donner lieu à des innovations radicales d'usage pour les adultes.

L'objectif du modèle de l'utilisateur extraordinaire est d'inciter les entreprises à utiliser la conception universelle comme une méthode d'innovation de type Need Seekers, et d'éviter le dilemme de l'innovateur lié à la focalisation sur les demandes et besoins exprimés par les utilisateurs ordinaires, ou clients principaux de l'entreprise.

Si la méthode de l'utilisateur extraordinaire semble susceptible de faire émerger des besoins fonctionnels nouveaux, encore faut-il que ces besoins soient partagés (implicitement ou explicitement) par les utilisateurs ordinaires. Cette question sera traitée dans le cadre de l'Hypothèse H2.

Développement de l'hypothèse H2 : un produit conçu à partir des besoins des utilisateurs extraordinaires est une innovation pour tous

Grâce aux produits de Tactile Studio nous souhaitons démontrer les atouts de la conception universelle que ce soit sur l'intuitivité des produits, la performance des usagers et de manière plus globale sur l'expérience utilisateur. Comme précédemment souligné, ce cadre d'intervention se positionne dans une démarche d'innovation incrémentale d'usage. Si les résultats sont concluants, ils nous encourageront à prolonger les travaux vers l'innovation radicale d'usage.

Nos objectifs d'innovation incrémentale se situent dans le champ de l'intuitivité des produits et de l'expérience utilisateur. Pour rappel, l'expression « expérience utilisateur » a été utilisée pour la première fois par Norman dans les années 90, afin d'élargir le spectre de l'utilisabilité et de qualifier toutes les dimensions impliquées lors d'une interaction entre un utilisateur et un système, un produit ou toute chose possédant une interface (Bill et Tullis, 2013).

Pour éprouver cette seconde hypothèse nous avons conduit trois expérimentations. La première expérimentation a porté sur le plan d'orientation installé au Musée de l'Homme à Paris, conçu initialement pour répondre aux besoins des personnes non- et malvoyantes. L'objectif de cette expérimentation est de mettre en évidence les bénéfices de ce plan 3D sur la construction de la représentation mentale de l'espace pour les visiteurs « tout venant » du musée.

La seconde expérimentation a visé la conception d'une gamme de pictogrammes visuotactiles universels, en suivant la méthode de l'utilisateur extraordinaire, c'est-à-dire en partant des besoins des personnes atteintes de déficience visuelle.

La dernière expérimentation ne permet pas de tester directement H2 mais a pour objectif de fournir un outil méthodologique qui permettra de tester cette hypothèse plus précisément. En effet, pour tester H2 il faut être capable de mesurer l'intuitivité des produits. Or, l'utilisation d'une échelle existante (INTUI) s'est avérée inadaptée, en particulier pour les enfants. Nous avons donc reconçu et validé un outil de mesure de l'intuitivité.

Partie 2

Expérimentations

Chapitre 4

Représentation mentale de l'espace

L'objectif de cette expérimentation est de tester notre hypothèse H2 selon laquelle un produit conçu à partir des besoins des utilisateurs extraordinaires (ici les personnes déficientes visuelles) pourrait améliorer la performance et l'expérience utilisateur pour tous.

4.1. Contexte de l'expérimentation

L'un des domaines d'activité de Tactile Studio est la conception de plans d'orientations accessibles à tous. Le déploiement de plans d'orientation a débuté en même temps que la recherche sur les pictogrammes (cf. chapitre 4), l'un et l'autre étant complémentaires. Dans l'ensemble des projets de l'entreprise, de nombreux plans d'orientations ont été conçus, pour des musées comme par exemple le Louvre, des mairies (bornes Autonomade, voir Boisadan et al., 2016), des bibliothèques, etc. (Figure 49).



Figure 49 : exemples de plans d'orientation conçus par Tactile Studio (de gauche à droite : Halle Pajol, Médiathèque Choisy-Le-Roi, bâtiment accueil du Parc de la Villette).

Ces plans d'orientation multimodaux peuvent être statiques (visuel, relief voire audio) ou dynamiques (visuel, relief, audio et affichage visuel via un écran d'ordinateur). La prérogative de ces plans d'orientation étant d'être accessibles en priorité aux personnes non- et malvoyantes tout en étant utilisables par le grand public. Au début de ce projet de recherche, nous avons mené des entretiens auprès de douze anciens clients de Tactile Studio (Le Louvre, le Musée d'Art Moderne, la Galerie des enfants, le Parc de la Villette, etc.) afin de recueillir des informations sur la lisibilité, l'orientation, la satisfaction et les usages des produits conçus. Les retours des clients de Tactile Studio, recueillis lors de ces entretiens, confirment la plus-value de ces plans pour l'ensemble des publics.

A ce jour, il existe peu de plans d'orientation visuotactiles, et encore moins qui soient esthétiques et s'intègrent harmonieusement dans l'environnement. La majorité des plans s'adressent au grand public et ne sont pas accessibles aux personnes atteintes d'un déficit visuel (Figure 50).



Figure 50 : à gauche : un plan visuotactile ; à droite : un plan d'orientation grand public avec écran tactile.

En outre, à notre connaissance, comme nous l'avons vu dans l'état de l'art, il n'existe pas de recherches démontrant les avantages d'une conception universelle pour le grand public ni, *a fortiori*, l'attrait de produits conçus initialement pour des personnes déficientes. L'objectif de notre expérimentation est de démontrer qu'un plan d'orientation répondant aux contraintes de la déficience visuelle facilite également l'orientation spatiale au sein d'un bâtiment pour des usagers sans déficience connue.

4.2. Etat de l'art

Dans cet état de l'art nous débuterons par un rappel du processus de traitement de l'information puis, nous aborderons le concept de cognition spatiale, processus nous permettant de nous orienter dans un environnement. Nous commencerons par le définir puis nous investiguerons le développement de la cognition spatiale chez les personnes non-voyantes. Nous terminerons par une présentation des plans d'orientation qui sont l'un des principaux outils permettant aux usagers d'acquérir indirectement des connaissances sur l'environnement dans lequel ils vont évoluer.

4.2.1. Traitement de l'information

Avant de présenter les processus de cognition spatiale, nous souhaitons rappeler brièvement, les étapes du traitement de l'information. En effet, ce sont les informations stockées en mémoire à long terme qui nous permettent d'optimiser nos apprentissages de l'espace et des plans d'orientation. Et c'est également pour cette raison, qu'il est impératif de standardiser les plans d'orientation afin d'éviter les réapprentissages des codes à chaque nouvelle utilisation et de consolider les informations acquises antérieurement.

Thomas et Michel (1994) proposent un modèle de traitement de l'information (Figure 51) s'appuyant sur de nombreux travaux antérieurs, et notamment ceux de Broadbent (1958, 1970 cité par Thomas et Michel, 1994), ceux de Baddeley (1986 cité par Baddeley, 2012) et d'Atkinson et Shiffrin (1968).

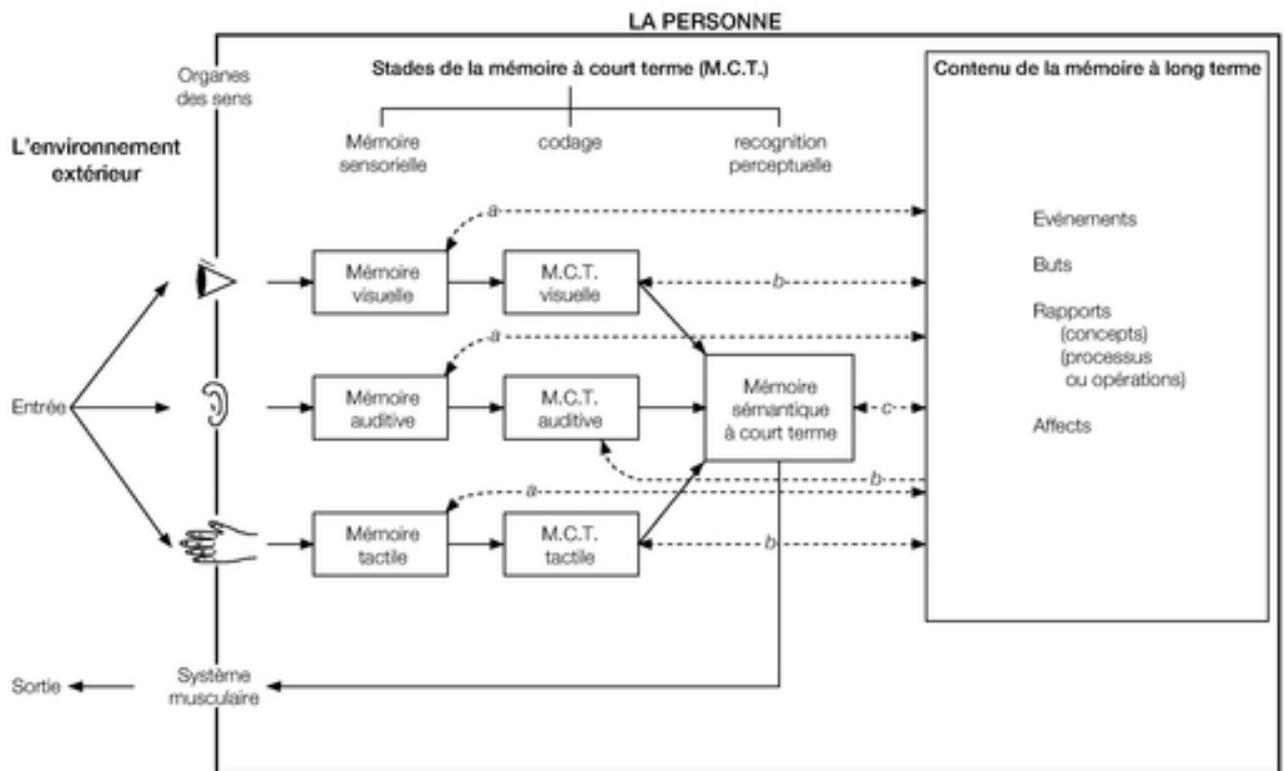


Figure 51 : modèle du traitement de l'information (Thomas et Michel, 1994).

Comparativement à d'autres représentations, ce modèle a l'avantage d'inclure la perception tactile comme stimulus. Ainsi les stimuli (visuel, auditif, tactile mais également olfactif ou gustatif) sont traités de prime abord par la mémoire à court terme. Ce traitement comporte trois étapes successives : (1) les stimuli sont provisoirement stockés dans la mémoire sensorielle et passent ensuite (2) dans le stade de codage qui réorganise l'information afin d'être exploitable (3) en mémoire sémantique à court terme où se produit une reconnaissance perceptuelle durant laquelle l'individu établit un lien avec les connaissances qu'il possède en mémoire à long terme. La mémoire à long terme correspond à la base des connaissances des individus. Quatre stocks (Croisile, 2009) la constituent : les mémoires perceptives, la mémoire procédurale (apprentissage de procédures motrices, perceptives et cognitives), la mémoire sémantique (connaissances apprises plusieurs fois dont le contexte d'apprentissage n'est pas retenu) et la mémoire épisodique (souvenirs personnels).

A chaque stade de la mémoire à court terme (mémoire sensorielle, codage et reconnaissance perceptuelle) des échanges (signifiés par les lignes a, b, c en pointillés) s'opèrent avec la mémoire à long terme.

4.2.2. La cognition spatiale

La connaissance spatiale est l'une des premières connaissances acquises par l'être humain. Tolman (1948) est un pionnier dans l'étude de la cognition spatiale, dans son article « Cognitive Maps In Rats and Men », il s'est intéressé aux représentations spatiales en étudiant le comportement de rats se déplaçant dans un labyrinthe. Les résultats de cette

recherche ont abouti au concept de carte cognitive, correspondant à la représentation mentale qu'un individu se fait de l'environnement dans lequel il se situe. De nombreux chercheurs ont, depuis, investigué ce champ conceptuel afin de l'enrichir.

Les cinq fonctions de la cognition spatiale sont (Narvaez, 2007) : (1) reconnaître et décrire l'environnement qui nous entoure, (2) permettre l'orientation personnelle, c'est-à-dire déterminer où nous sommes et notre position dans l'environnement, (3) déterminer l'orientation géographique c'est-à-dire notre place dans l'espace général, (4) permettre de se déplacer et naviguer d'un point A à un point B, enfin (5) de décrire les objets et les relations entre eux.

La classification des connaissances spatiales communément employée est celle de Siegel et White (1975) qui fut reprise et enrichie par Thorndyke (1980 ; Thorndyke et Hayes-Roth, 1982). Trois catégories sont proposées.

La connaissance des points de repère (*landmark knowledge*)

Les points de repère aident à la prise de décision spatiale (Golledge, (1999) cité par Boumenir (2011)), ce sont leurs formes, structures et/ou significations socioculturelles qui leur permettent d'être reconnus par les sujets (Appleyard, 1969 (cité par Boumenir, 2011); Scribante, 2000). Deux éléments caractérisent les points de repères, d'une part ils doivent pouvoir attirer notre attention grâce à leur particularité et à la signification personnelle que nous leur attribuons (Satalich, 1990 ; Lynch, 1960) et, d'autre part, ils doivent être reconnaissables par plusieurs personnes (Boumenir, 2011). Ainsi, ce sont généralement des objets statiques, visibles, pertinents, distincts et permanents (Siegel et White, 1975 ; Clouclelis, et al., 1987) comme par exemple la Tour Eiffel (Paris), Big Ben (Londres) ou encore le One World Trade Center (New-York) (Figure 52).



Figure 52 : exemples de monuments points de repère (de gauche à droite : la Tour Eiffel (Paris), Big Ben (Londres) et One World Trade Center (New-York)).

Néanmoins, identifier uniquement des points de repère ne nous permet pas de nous déplacer dans l'espace, ils doivent être complétés par la connaissance des itinéraires (Ashraf, 2005, Boumenir, 2010).

La connaissance des itinéraires (*route knowledge*)

La connaissance des itinéraires permet d'établir « les séquences des actions lors de la navigation à travers un environnement » (Golledge (1999) cité par Boumenir (2011)). Il s'agit d'une connaissance procédurale qui permet de planifier les actions à effectuer lors de la navigation pour se rendre d'un point A à un point B. Selon Allen (1999), ces séquences incluent

plusieurs points : point de départ, éventuellement des points d'arrêt intermédiaires et un point d'arrivée. L'auteur précise qu'il s'agit d'itinéraires connus par la personne. Par exemple, si une personne possède des connaissances de points de repères et des itinéraires, et qu'elle souhaite se rendre de la Tour Eiffel au musée du Louvre, elle sait qu'elle doit passer par les Champs-Élysées, mais si elle ne peut pas effectuer son itinéraire à cause d'une raison X, elle ne sera pas en mesure de trouver un itinéraire bis car elle ne possède pas les connaissances de configuration.

La connaissance de la configuration (*Survey knowledge*)

Cette connaissance permet de positionner les objets dans l'espace et de définir la distance qui les séparent, il s'agit d'une vue « à vol d'oiseau » (Satalich, 1995). Comparé aux connaissances des points de repères qui s'acquièrent de manière allocentrique et égocentrique, les connaissances de configuration s'acquièrent uniquement de manière allocentrique (Ashraf, 2005). L'acquisition de ces connaissances s'effectue soit par l'apprentissage des cartes soit par une exploration répétée et via plusieurs itinéraires de l'environnement (Waller et al., 1998).

Les trois typologies de connaissances sont inter-dépendantes les unes des autres, en effet, selon Passini (1994), lorsqu'un usager arrive dans un nouvel environnement il commence par le « balayer » afin de localiser les points de repères, ensuite il structure les connaissances pour établir les liens entre les différents éléments de l'environnement afin de s'y déplacer (route knowledge), enfin, pendant le trajet, l'usager acquerra d'autres connaissances qui lui permettront de se créer une compréhension globale de l'environnement.

4.2.3. La cognition spatiale chez les personnes déficientes visuelles

Les personnes avec déficience visuelle sollicitent le toucher, l'ouïe et leur sens kinesthésique pour acquérir les connaissances sur les relations spatiales (Jehoel, 2008 ; Boumenir, 2014), contrairement aux voyants qui s'appuient principalement sur la vision (Cattaneo, 2013). Comme l'illustre cet extrait d'entretien, ils se réfèrent à des « repères de masse » lors des déplacements :

« Le repère de masse c'est comme les immeubles, des choses comme ça... nous quand on marche à côté ou quand on marche et qu'il n'y a rien à l'oreille c'est pas pareil on n'a pas la même euh... par exemple ici, quand je repars d'ici moi je prends la rue de l'Ouest, donc je tourne à gauche et je vais jusqu'à la rue Pernety je crois qui est plus loin et je prends à droite pour aller vers le métro Pernety et là moi le repère que j'ai c'est qu'à un moment il y a une grande porte cochère qui est toujours ouverte et cette porte là quand j'arrive là je sais que je ne suis pas loin du métro... [...] Voilà, nous on se sert de repères à l'oreille, on ne peut pas faire autrement de toute façon, mais voilà ça fait partie des repères qu'on a mais c'est sûr que si on est dans des endroits comme ça où il y a des repères, nous ce qu'on appelle des repères de masse on se repère plus facilement, s'il n'y en n'a pas, j'ai un souci » (extrait d'un entretien que nous avons mené avec une personne aveugle tardive).

De nombreux auteurs (Golledge et al., 1996, cité par Boumenir, 2011 ; Kennedy et al., 1992 ; Millar, 1994 ; Thinus-Blanc et Gaunet, 1997) se sont intéressés au développement de la cognition spatiale chez les personnes atteintes de cécité. Toutefois la littérature ne s'accorde pas sur la capacité à acquérir ces connaissances, Kitchin et al. (1997) recensent trois approches ; (1) la théorie de la déficience prône le fait que les personnes déficientes visuelles ne possèdent pas les mêmes capacités que les voyants car la vue joue un rôle primordial ; ils sont donc incapables de développer le niveau fonctionnel de cognition spatiale, (2) selon la théorie de l'ineffectivité, la cognition spatiale des personnes déficientes visuelles est inférieure à celle des voyants à cause des processus perceptuels inefficaces, enfin (3) selon la théorie de la différence, les personnes déficientes visuelles ont le même potentiel que les voyants pour développer une cognition spatiale, les différences qualitatives et quantitatives étant dues à des variables telles que le stress, l'accès à l'information ou l'expérience. Nous nous inscrivons dans cette troisième approche.

En somme, les personnes déficientes visuelles ont des capacités de fonctionnement équivalentes mais elles développent leur cognition spatiale à travers d'autres modalités sensorielles que la vision, et plus lentement (voir Jehoel, 2008 ; Boumenir et al., 2014).

Tout comme les voyants, les non-voyants sont donc capables de comprendre les relations spatiales entre eux et les objets composant l'environnement ainsi qu'entre les objets eux-mêmes et de transférer l'information spatiale d'un plan d'orientation à l'environnement réel (Jehoel, 2008).

4.2.4. Les plans d'orientation

L'apprentissage de l'espace peut s'effectuer selon deux stratégies, soit de manière empirique (directe) à travers l'expérience vécue soit avec des représentations externes (indirecte) (Golledge, 1999 cité par Boumenir (2011) ; Girard, 2004 ; Ashraf, 2005) grâce à de nombreux supports tels que les photographies, les vidéographies, les indications verbales, l'environnement virtuel ainsi que les plans qui, à l'heure actuelle, sont le support le plus employé (Darken et Peterson, 2002). En outre, il a été démontré que les plans d'orientation sont plus performants que les descriptions verbales dans une tâche d'apprentissage d'un environnement (Stock, Kulhavy, Peterson, Hancock et Verdi, 1995 ; Maneghetti, Borella, Gyselinck et De Beni, 2012).

Les plans, et en particulier les plans 2D sont utilisés depuis 5000 ans et sont la plus ancienne représentation de l'information (Hirtle et Sorrows, 2006), ils permettent de survoler l'espace tout en réduisant le temps d'apprentissage (Thorndyke et Hayes-Roth, 1982).

Jehoel (2007) propose une présentation très complète des plans d'orientation : ceux-ci représentent les relations spatiales entre les éléments sur un format accessible, généralement visuel avec des images en deux dimensions. Les plans sont des petites représentations symboliques bidimensionnelles projectives de taille réduite d'un espace réel (Hatwell et Martinez-Sarocchi, 2003) ; ils contiennent des symboles (points, lignes et zones) pour représenter les objets et éléments de la zone cartographiée, ces symboles dépendent de la dimension initiale du plan. Un nombre limité d'objets pertinents et d'éléments peuvent être présentés sur un plan d'orientation. Les plans d'orientation nous fournissent des informations

spatiales de l'environnement (Llyod, 2000 cité par Brock, 2013) qui nous seraient impossible ou difficiles à collecter autrement. Ces informations peuvent être utilisées de différentes manières, par exemple elles nous permettent de naviguer dans un environnement non familier ou de nous aider à comprendre le plan spatial du monde autour de nous.

La notion d'alignement est essentielle, elle affecte la manière dont les usagers se représentent l'espace (Hatwell et Martinez-Sarocchi, 2003). La lecture et la compréhension d'un plan impliquent de pouvoir se situer soi-même dans l'espace signifié, c'est pourquoi le repère « vous êtes ici » est si important. Un « vous êtes ici » est aligné lorsque le haut de la carte correspond au droit devant du lecteur (Jansson et Monaci, 2003 ; Hatwell, 2003), certains auteurs nomment cela l'alignement « forward-up » ou « track-up » (Levine, 1982 (cité par Montello, 2010 ; Aretz et Wickens, 1992)). Lorsqu'un plan d'orientation n'est pas aligné, les usagers éprouvent un sentiment de désorientation et de confusion pouvant être accompagné d'anxiété, généralement le temps de prise de décision pour déterminer le chemin à prendre est plus long et le choix effectué souvent erroné (Montello, 2010), nous appelons cela un *effet d'alignement* (Presson et Hazalrigg, 1984). Pourquoi l'alignement est-il essentiel ? Pour les usagers, il est naturel d'associer la direction en avant à ce qu'il y a « en haut » dans le champ visuel (Shepard et Hurwitz, 1984).

En conclusion, lorsqu'un individu consulte un plan d'orientation, les informations perçues, visuo-tactiles ou visuo-audio-tactile pour les personnes voyantes et tactiles ou audio-tactiles pour les personnes non-voyantes, vont suivre les différentes étapes jusqu'à être encodées en mémoire à long terme. Dès lors, pour les concepteurs il est impératif de proposer des plans d'orientation constants et reprenant les mêmes codes pour renforcer ces connaissances et ainsi, diminuer et la charge mentale impliquée dans l'apprentissage des plans d'orientation, et la durée de cet apprentissage. En outre, nous supposons que la multi-modalité des plans est susceptible d'accroître l'acquisition perceptive en favorisant le traitement et l'encodage des informations.

Le plan d'orientation du Musée de l'Homme à Paris, conçu par Tactile Studio, inclut une telle multimodalité (visuelle, tactile et volumétrique) afin d'être utilisable et compréhensible par les personnes atteintes de déficience visuelle.

En effet, la demande initiale du musée de l'Homme était de concevoir un dispositif utilisable et accessible à tous les visiteurs avec comme public cible les personnes non- et malvoyantes. L'objectif était (1) d'identifier les offres et services du musée, (2) de repérer l'emplacement des différents espaces et, (3) de prendre conscience de la notion d'échelle, de proportion et de volume. Tactile Studio a proposé une station comprenant trois dispositifs complémentaires (Figure 53) :

- 1) un plan de situation (à gauche) : compréhension de la symétrie des ailes du palais de Chaillot et le positionnement par rapport à la Seine et à la Tour Eiffel ;
- 2) une maquette volumétrique simple (au centre) : découverte des façades et toitures ainsi que la rythmique des ouvertures vitrées ;
- 3) un éclaté du bâtiment (à droite) : découverte de l'organisation structurelle, circulation, espaces, étages.

Le dispositif total mesure 2 m de long sur 65 cm de profondeur.



Figure 53 : ensemble du dispositif.

Pour notre étude, nous avons utilisé l'éclaté du bâtiment, qui présente les différents étages et entresols. Les dimensions sont 69 cm de large et 59 cm de profondeur (Figure 54).



Figure 54 : maquette en éclaté.

La maquette en éclaté comprend des informations visuelles et tactiles. Les éléments en relief sont : le Braille, les pictogrammes, les flèches, les escaliers et une texture hachurée pour signifier les espaces non accessibles. La dénomination des espaces et services sont écrits à la fois en noir et en Braille. Pour des raisons temporelles inhérentes au projet, la maquette n'a pas été validée auprès d'utilisateurs non- et malvoyants. Pour la concevoir, nous nous sommes appuyés sur l'expertise des membres de l'équipe et les connaissances acquises dans des projets antérieurs. La conception en « éclaté » est, par ailleurs, bien connue de la population non- et malvoyante ; en effet la représentation étage par étage est habituelle lorsque nous concevons des plans d'orientation destinés à ce public, principalement lorsqu'il s'agit de plans d'orientation représentant un bâtiment dans son intégralité.

Pour valider notre hypothèse H2 appliquée à un plan d'orientation, nous avons mené une étude dans laquelle nous demandions à des participants voyants d'effectuer une tâche de navigation à partir de ce plan 3D en volume, ou à partir d'un plan 2D contenant les mêmes

informations. Dans un premier temps, nous avons envisagé de faire réaliser la tâche de navigation dans le musée lui-même (cf. pré-étude) mais, compte tenu des biais *in situ*, nous avons finalement opté pour une tâche de navigation mentale.

4.3. Pré-étude

4.3.1. Méthode

Onze personnes âgées en moyennes de 39,8 ans (SD= 18,3, min=22 ans, max=64 ans) dont 55% d'hommes et 45% de femmes, ont participé à une étude pilote sur le site du Musée de l'Homme à Paris. Cette étude comportait deux conditions expérimentales : orientation dans le musée à l'aide du plan 3D de Tactile Studio, ou à l'aide d'un plan 2D.

Les deux conditions ont été comparées selon cinq indicateurs de performance : 1) mémorisation, estimée via la fidélité d'un dessin du musée réalisé par chaque participant, 2) nombre de réponses justes aux questions d'orientation, 3) temps pour effectuer le parcours prescrit, 4) réussite ou échec du parcours, et 5) scores au questionnaire d'intuitivité *INTUI* (Ullrich et Diefenbach, 2010).

4.3.2. Résultats

Pour cette étude pilote, l'environnement du Musée de l'Homme ne nous a pas permis de tester de façon rigoureuse l'efficacité des plans. En effet, la présence importante de signalétique dans chaque espace du musée aide les visiteurs à s'orienter tout au long de leur parcours, indépendamment du plan qu'ils ont consulté initialement.

Nous avons donc modifié le protocole expérimental afin de tester l'influence du type de plan d'orientation sur la réussite à une tâche de navigation mentale dans le musée.

4.4. Hypothèse

Notre hypothèse est que le plan 3D conçu pour répondre aux besoins des personnes atteintes de déficience visuelle va favoriser la représentation mentale de l'espace (meilleurs scores de mémorisation, plus grande efficacité dans la tâche de navigation) par rapport à un plan d'orientation 2D contenant les mêmes informations.

4.5. Etude

4.5.1. Méthodologie

4.5.1.1. Participants

Au total, 30 participants (Tableau 7), répartis en deux groupes indépendants, ont pris part à cette étude. Nous les avons recrutés sur la base du volontariat, il s'agissait de visiteurs seuls en sortie de visite du musée. Nous n'avions pas de critères d'exclusion.

Tableau 7 : caractéristiques de l'échantillon de l'expérimentation 1.

	Condition 3D (n=15)	Condition 2D (n=15)
Age moyen	40 ans $\sigma = 18,2$ min = 18 ans, max = 72 ans	43 ans $\sigma = 15,8$ min = 20 ans, max = 64 ans
Genre	8 femmes et 7 hommes	9 femmes et 6 hommes
Répartition diplôme	Doctorat = 1 participant Master=5 participants Licence=5 participants Deug= 2 participants Baccalauréat = 2 participants	Doctorat = 3 participants Master=6 participants Licence=4 participants Baccalauréat =2 participants
Répartition CSP	Prof. Intermédiaire =1 participant Cadre= 7 participants Employé=2 participants Retraité= 2 participants Etudiant= 3 participants	Art., com., chef d'ent. = 2 participants Prof. Intermédiaire = 1 participant Cadre = 5 participants Employé= 2 participants Retraité= 1 participant Sans emploi = 1 participant Etudiant= 3 participants
Déficiences visuelle	non	non
Déficiences auditive	non	non
Déficiences motrice	non	non
Déficiences cognitive	non	non
Troubles « dys »	non	1 (dyscalculie)

Les expérimentations se sont déroulées au musée de l'Homme pendant deux semaines.

4.5.1.2. Matériel expérimental

Pour mesurer l'effet du type de plan sur la représentation mentale des participants nous avons utilisés deux supports : un plan 3D et un plan 2D.

Présentation de la maquette en éclaté (plan 3D)

Nous avons utilisé la maquette multimodale en éclaté du musée de l'Homme (Figure 54), qui a servi de support à la condition 3D. Elle permet de découvrir l'organisation structurelle, les circulations, les espaces et les étages du musée. La légende (Figure 55) présente les offres qui sont réparties en plusieurs couleurs.



Figure 55 : légende de la maquette multimodale.

La maquette comprend 7 niveaux :

- **Niveau 0 (Rez-de-chaussée)** : ce niveau 0 est partagé entre le musée de l'Homme et le musée national de la Marine. Les espaces du musée de l'Homme sont : billetterie / billetterie électronique, librairie, restaurant et ascenseur (Figure 56).

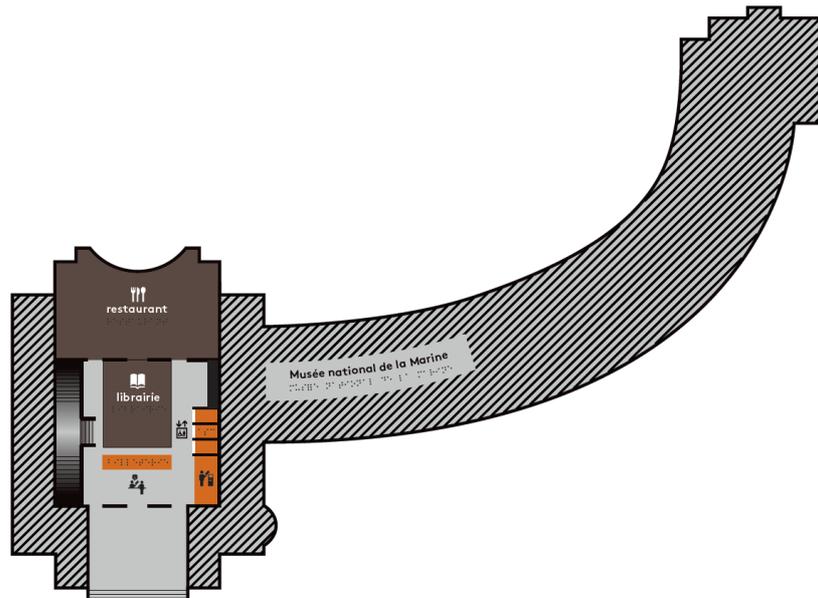


Figure 56 : niveau 0.

- **Niveau 1** : ce niveau est l'un des deux principaux, il comprend : les vestiaires, le centre des ressources, les ateliers pédagogiques, l'accueil des groupes, le foyer, l'auditorium, l'atrium, le début de l'exposition permanente, IUCN (privé), les ascenseurs, les toilettes (Figure 57).

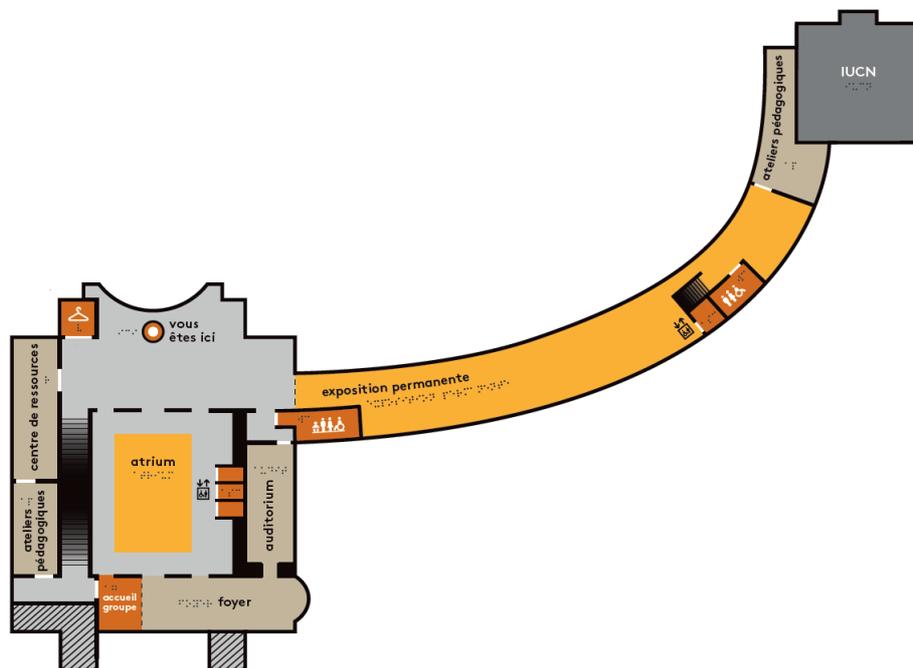


Figure 57 : niveau 1.

- **Mezzanine (Entresol R+1)** : ce niveau est situé entre les niveaux 1et 2, il s'agit de la suite de l'exposition permanente. Un ascenseur est également à cet étage.

- **Niveau 2** : ce niveau est le second principal, il comprend : le café de l'Homme, le balcon des sciences, l'espace dédié aux expositions temporaires, fin de l'exposition permanente, bureaux (privé), ascenseur (Figure 58).

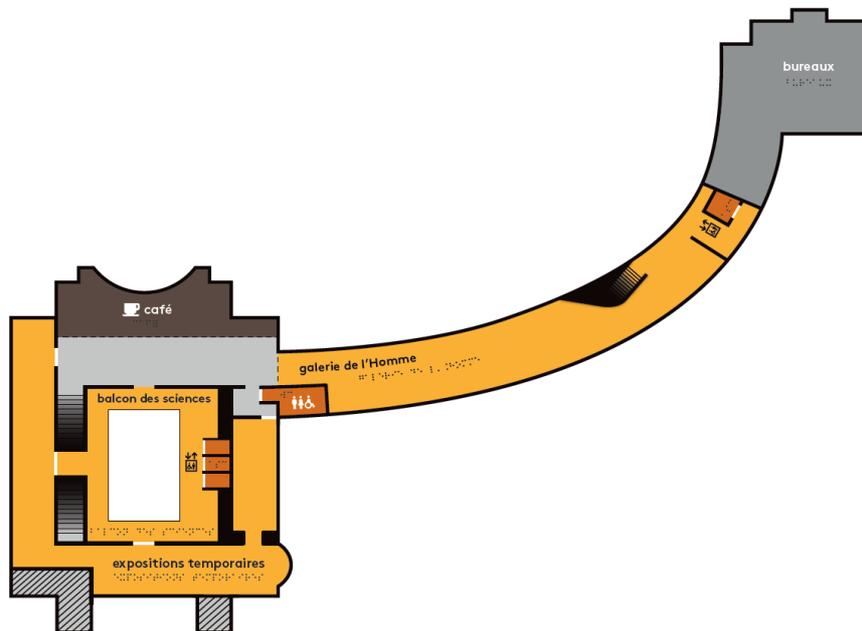


Figure 58 : niveau 2.

- **Niveau 3** : ce niveau est privé, il comprend : les laboratoires de recherche, les bureaux du centre de recherche, les ascenseurs (Figure 59).

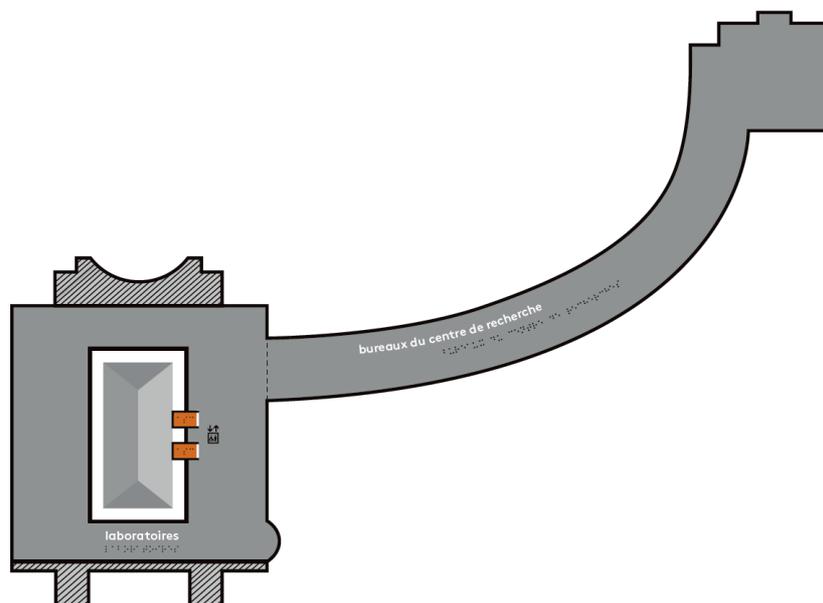


Figure 59 : niveau 3.

- **Niveaux 4 et 5** : le niveau 4 est privé, il comprend : les bureaux, SAMH, le service conservation du palais. Le niveau 5 comprend : les bureaux (privé), la bibliothèque (public), ascenseur, les toilettes (Figure 60).

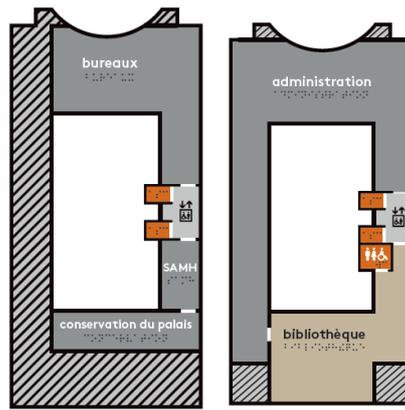


Figure 60 : niveau 4 (à gauche) et niveau 5 (à droite).

Présentation du plan 2D

A partir de la maquette numérique du plan d'orientation 3D, nous avons conçu un plan 2D en format A1 (Figure 61) présentant les différents niveaux du bâtiment de manière juxtaposée (l'un au-dessus de l'autre). Le plan 2D comprend exactement les mêmes informations que la maquette tactile.

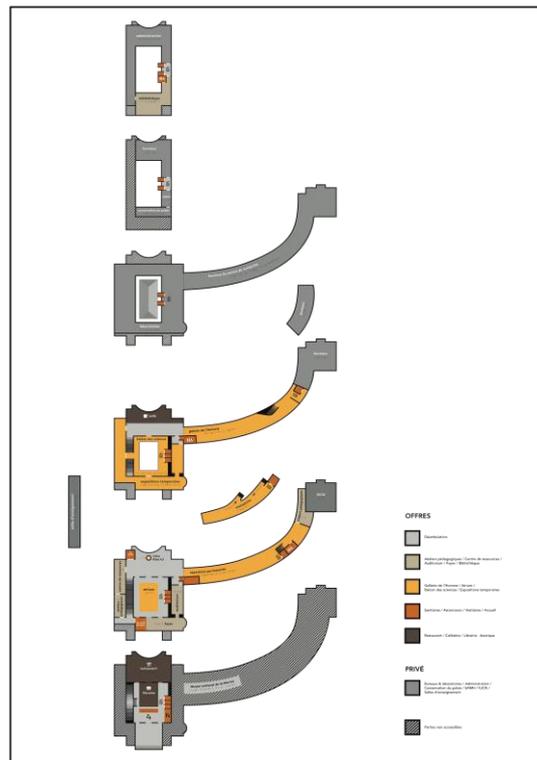


Figure 61 : plan 2D du musée de l'Homme.

Pour le recueil de données, nous avons utilisé : un dictaphone (Sony), des feuilles blanches ainsi que des feutres (noirs et de couleurs si besoin).

4.5.1.3. Procédure

Chaque passation durait 10 minutes et comprenait cinq étapes.

Etape 1 : signature du protocole d'accord

Avant de débiter la passation, les participants signaient un protocole d'accord autorisant l'expérimentatrice à les enregistrer lors de l'étape 3.

Etape 2 : apprentissage du plan

Chaque participant était affecté à l'une des 2 conditions suivantes : 3D (réalisation de l'expérience avec le plan d'orientation 3D en volume) ou 2D (réalisation de l'expérience avec le plan papier 2D format A1). Dans les deux conditions, l'expérimentatrice laissait tout d'abord le participant découvrir le plus attentivement possible le plan, ce, pendant 3 minutes maximum. Si les participants jugeaient s'être suffisamment familiarisés avec le plan avant la fin des trois minutes, ils le signalaient à l'expérimentatrice puis passaient à l'étape suivante. Cette étape était chronométrée.

La consigne était la suivante : « *Vous allez maintenant explorer attentivement le plan pendant 3 minutes maximum afin de retenir des informations. Si vous avez terminé avant les 3 minutes, dites-le-moi, nous passerons à l'étape suivante* ».

Etape 3 : restitution

Dans la condition 3D, le participant et l'expérimentatrice s'installaient ensuite sur un siège dos au plan d'orientation, afin que le participant ne puisse plus le regarder. Dans la condition 2D, la restitution avait lieu au même endroit que l'apprentissage, une fois le plan 2D retourné.

L'expérimentatrice demandait alors aux participants de dessiner le plan du bâtiment sur une feuille blanche orientée comme ils le souhaitaient (paysage ou portrait) et de dire toutes les informations retenues lors de la phase d'apprentissage.

La consigne était la suivante : « *Pouvez-vous me dire et dessiner toutes les informations dont vous vous souvenez* ». L'expérimentatrice enregistrait les verbalisations à l'aide d'un dictaphone.

Etape 4 : navigation mentale

L'expérimentatrice donnait aux participants un point de départ (l'entrée du bâtiment) et un point d'arrivée (la bibliothèque située au 5^{ème} étage) et leur demandait de décrire verbalement le chemin qu'ils emprunteraient pour se rendre de l'un à l'autre. L'expérimentatrice autorisait les participants à utiliser voire à compléter leur dessin lors des descriptions. L'expérimentatrice notait les informations ajoutées.

La consigne était la suivante : « *A partir de ce que vous vous êtes rappelé, imaginez que vous vous situez à l'entrée du bâtiment et que vous souhaitez aller à la bibliothèque. Quel itinéraire*

emprunteriez-vous ? ». L'expérimentatrice enregistrait les verbalisations à l'aide d'un dictaphone.

Nous avons volontairement demandé aux participants de naviguer sans le plan d'orientation sous les yeux afin d'éviter un effet plafond : nous souhaitons mettre à l'épreuve la représentation mentale des participants afin de maximiser la probabilité d'observer des différences entre nos deux conditions expérimentales.

Etape 5 : complétion du questionnaire sociodémographique

Pour finir, les participants remplissaient un questionnaire comprenant toutes les informations sociodémographiques nécessaires à la description de l'échantillon, à savoir : âge, genre, diplôme, CSP et la présence ou non d'une déficience (visuelle, auditive, motrice, cognitive et « dys »).

4.5.2. Résultats

4.5.2.1. Analyse des données

Le dépouillement des données a porté sur deux dimensions, les dessins et la navigation mentale.

Analyse des dessins

Dans un premier temps, nous avons comptabilisé dans le plan initial 149 informations signifiantes (représentation des étages et des ailes du bâtiment, zones du musée, labels, pictogrammes, couleurs, éléments remarquables comme les escaliers, ascenseurs, WC, etc.) (Tableau 8). Pour évaluer la fidélité des dessins des participants, nous y avons recensé les informations qui y étaient présentes ; nous avons attribué 1 point pour une information justement rappelée c'est-à-dire existante et bien positionnée sur le plan d'orientation et nous avons attribué -1 lorsque l'information n'existait pas ou était incorrectement placée sur le plan d'orientation. Nous obtenions deux scores globaux (dessin et oral) pour chaque participant.

Tableau 8 : tableau récapitulatif du nombre d'informations comptabilisées par niveau.

Etages	Nb informations comptabilisées
Niveau 0 (Rez-de-chaussée)	N= 23
Niveau 1	N= 43
Mezzanine (Entresol R+1)	N= 8 +2
Niveau 2	N= 30
Niveau 3	N= 13
Niveau 4	N= 13
Niveau 5	N= 14

Puis, pour compléter l'évaluation des dessins, nous avons attribué une note de 1 à 5 pour la qualité de la représentation de l'architecture globale du bâtiment. Par exemple, nous avons attribué la note de 1 au dessin de gauche (condition 2D)) et la note de 5 au dessin de droite (condition 3D) (Figure 62).

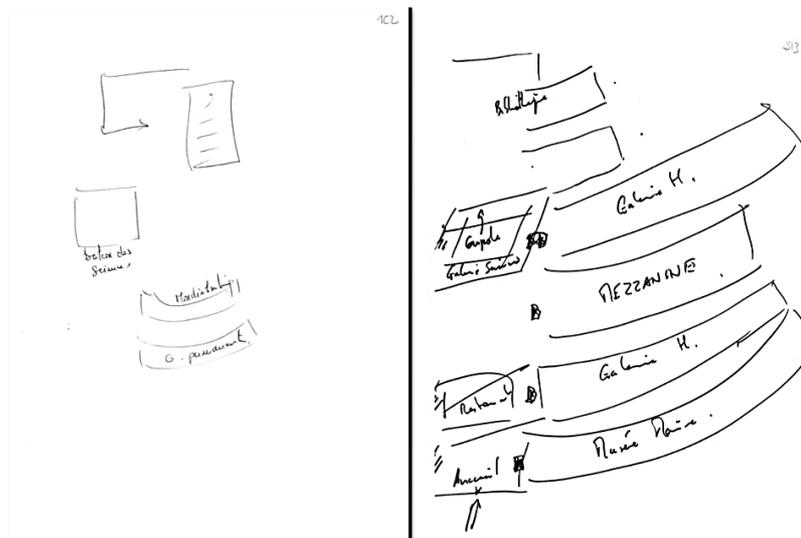


Figure 62 : exemples de dessins produits et de notes attribuées (dessin de gauche = 1 pt ; dessin de droite = 5 pts).

Enfin, pour l'étape de restitution, l'évaluation des dessins a été complétée par l'analyse des verbatim. Nous avons collecté dans les enregistrements vocaux les mêmes informations que celles que nous avons relevées dans les dessins.

Analyse de la navigation mentale

Pour l'étape de navigation mentale, nous codions 1 point en cas de réussite de l'itinéraire et 0 en cas d'échec (soit le participant ne donnait pas l'itinéraire correct soit il ne pouvait pas l'expliquer). Un critère spécifique « inversion de la carte mentale » a été codé lorsque les participants ont interprété l'étage représenté en haut du plan (niveau 5) comme l'étage inférieur et celui représenté en bas du plan (niveau 0) comme l'étage supérieur. Nous avons également relevé les hésitations dans le discours, si la personne hésitait nous codions 1 point.

4.5.2.2. Résultats

Nous avons effectué un test T de Student pour comparer les résultats obtenus dans les deux conditions (2D vs. 3D).

Analyse des dessins

Les résultats ne montrent pas de différence significative sur le nombre de détails présents dans les dessins entre la condition 2D (M = 15,87 ; SD = 7,74) et la condition 3D (M = 11,27 ; SD = 7,77 ; F(1,28) = 2,64 ; p = 0,116).

Par contre, les participants de la condition 2D ont significativement rappelé plus de détails dans le discours de restitution ($M = 7,87$; $SD = 4,97$) que ceux de la condition 3D ($M = 4,8$; $SD = 2,73$; $F(1,28) = 4,39$; $p = 0,045$).

Au total, les participants de la condition 2D ont rappelé significativement plus de détails (dessins et discours, $M = 23,73$; $SD = 10,65$) que les participants de la condition 3D ($M = 16,07$; $SD = 9,36$; $F(1,28) = 4,39$; $p = 0,045$) (Figure 63).

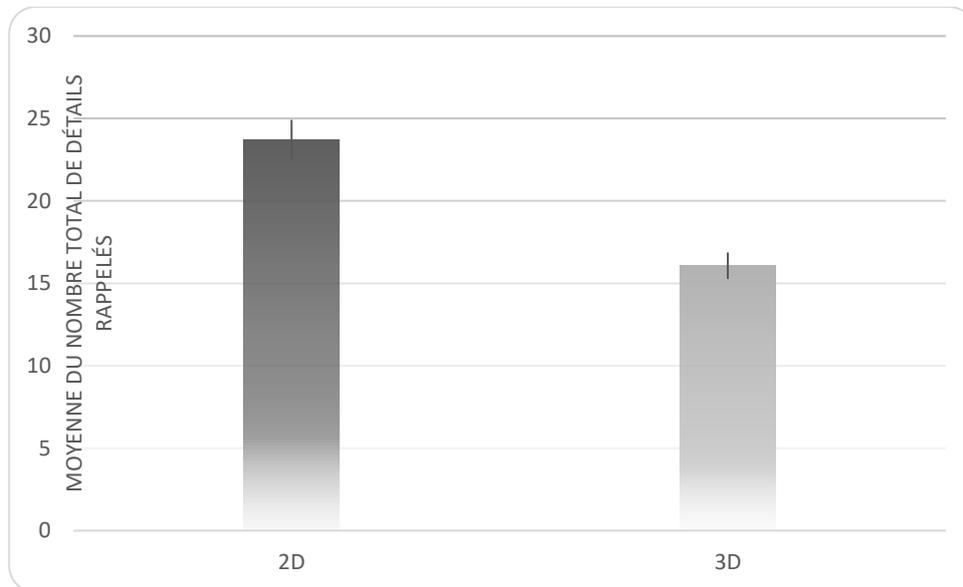


Figure 63 : moyenne du nombre total de détails rappelés (dessin et discours).

Nous n'avons pas observé de différence significative entre condition 2D ($M = 3,13$; $SD = 1,19$) et condition 3D ($M = 3,4$; $SD = 1,35$; $F(1,28) = 0,329$; $p = 0,571$) concernant la fidélité à l'architecture globale du bâtiment.

Analyse de la navigation mentale

Cinq participants de la condition 2D ont commis une inversion (soit 33,3% de l'échantillon), contre aucun participant de la condition 3D (Figure 64). Cette différence est significative ($F(1,28) = 7,00$; $p = 0,013$).

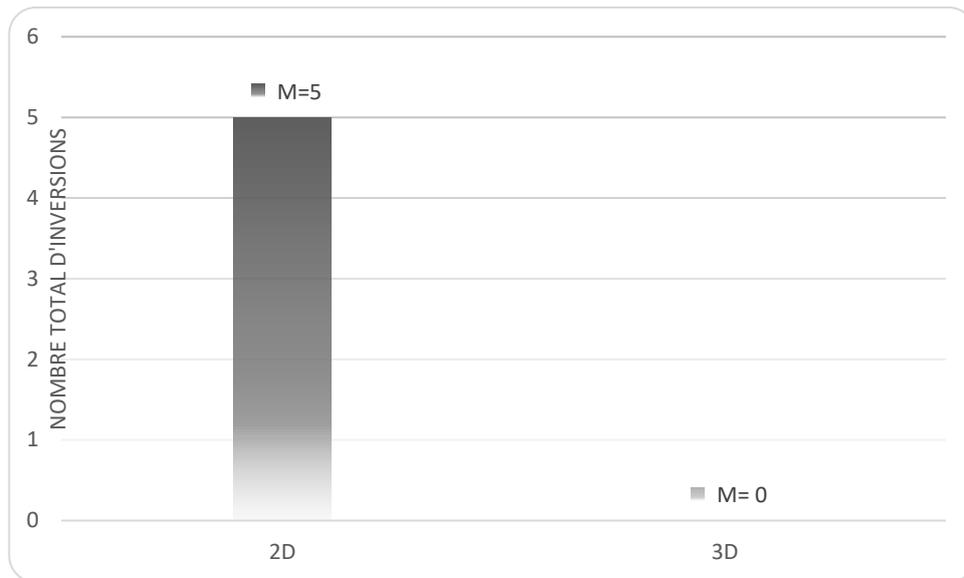


Figure 64 : nombre total d'inversions commises.

Seules 3 personnes sur les 30 participants ont réussi la tâche de description de l'itinéraire de l'entrée jusqu'à la bibliothèque. Ces 3 participants étaient tous en condition 3D (Figure 65) ; cette différence apparaît tendancielle ($F(1,28) = -3,50$; $p = 0,072$).

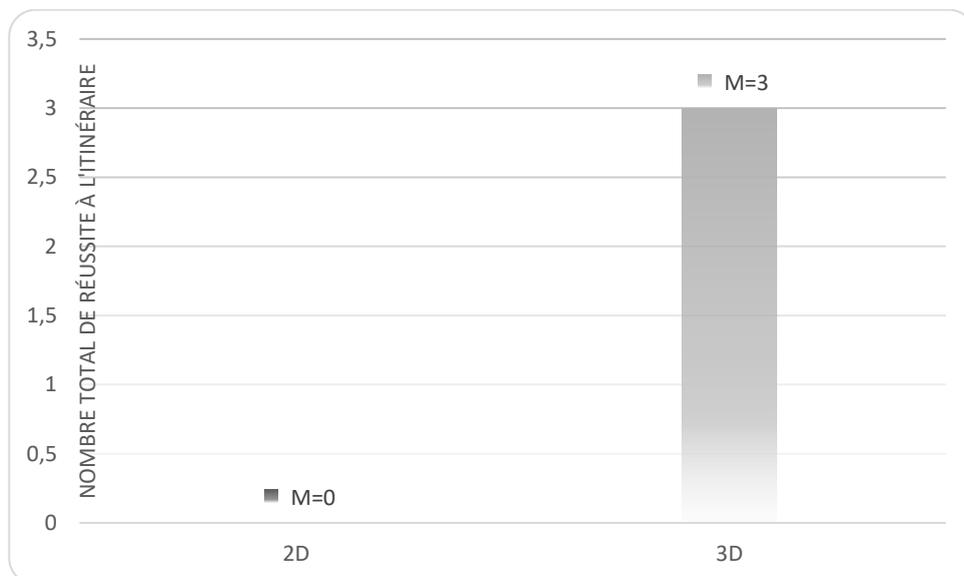


Figure 65 : nombre total de réussite à la tâche de description d'itinéraire.

Nous n'avons pas observé de différence significative entre condition 2D ($M = 2,13$; $SD = 2,07$) et condition 3D ($M = 1,2$; $SD = 1,32$; $F(1,28) = 2,17$; $p = 0,151$) pour le nombre d'hésitations dans les discours.

En résumé, les participants de la condition 3D ont rappelé moins d'informations (verbales et dessins). Toutefois, ils n'ont commis aucune inversion entre le haut et le bas du bâtiment et ont eu tendance à plus réussir la tâche de navigation mentale que les participants de la condition 2D.

4.6. Discussion

4.6.1. Validation des hypothèses

La finalité d'un plan d'orientation est de permettre à une personne de se rendre d'un point A à un point B de la manière la plus efficace possible. Au regard de cet objectif, les résultats tendent à montrer une meilleure performance du plan 3D sur le plan 2D. Il semble donc que le plan 3D en écorché permette, pour des adultes sans déficience issus de la population de « masse » visée par le Musée, d'avoir une meilleure représentation mentale de l'espace afin d'identifier un itinéraire pour se rendre d'un point A à un point B.

Revenons sur les principaux résultats.

D'une part, nous avons observé une inversion entre le haut et le bas sur le plan 2D ; lorsque les informations sont présentées sur une feuille, le sens de lecture textuel est de haut en bas. Nous supposons que c'est ce qu'ont fait les participants et qu'ainsi certains ont établi le fait que l'entrée se trouvait en haut et les étages supérieurs en bas. Ils auraient ainsi lu le plan comme un texte et non comme une image. Ce phénomène d'inversion est intéressant. La totalité des participants ayant commis une inversion du haut et du bas, s'en sont aperçus au moment de réaliser la tâche de navigation mentale. En effet, c'est en leur demandant de situer l'accueil du bâtiment (point de départ) sur le plan que la confusion est apparue, ils n'y arrivaient pas et ne comprenaient plus par où ils étaient entrés. Leur représentation de l'espace était erronée. Dans ce cas, l'expérimentatrice leur demandait de situer par où ils étaient entrés, certains d'entre eux étaient incapables ou indiquaient le haut sur le dessin, s'apercevaient de l'impossibilité de leur réponse et verbalisaient spontanément « je ne sais pas », « ce n'est pas clair », « je ne comprends pas le plan ». Aucune confusion de la sorte n'a été observée pour les participants de la condition 3D. Le bâtiment étant représenté en volume et reposant sur un socle qui représente la terre, il n'y avait pas de confusion possible pour identifier le haut le bas. Pour éviter la confusion sur le plan 2D, il aurait fallu ajouter des informations supplémentaires telles que les numéros d'étages, en effet, plusieurs participants ont déclaré être gênés par le fait qu'il n'y ait pas de numéro d'étage, cela signifie que sur un plan en 2D l'ajout de ce type d'informations est nécessaire et donc, surcharge davantage le plan. Afin d'approfondir ce résultat et notre interprétation, nous pourrions reconduire l'expérimentation à l'aide d'un oculomètre afin de déterminer le sens de lecture des participants sur le plan 2D.

D'autre part, pour la faible performance à la tâche d'itinéraire, ce, dans les deux conditions, nous envisageons trois explications. La première explication est que la majorité des participants n'avaient pas vu la bibliothèque. Dès lors, ils étaient incapables de la situer et d'effectuer la tâche de navigation mentale. La seconde explication est que les participants se sont concentrés sur l'exploration de leur parcours de visite (niveaux 1 et 2 du musée) et n'ont pas observé le reste des étages. Enfin, la troisième explication est que certains participants ont confondu la bibliothèque avec le centre de ressources. Toutefois, le fait que les 3 seuls participants qui ont réussi la tâche de navigation étaient dans la condition 3D nous laisse supposer que le plan en éclaté a facilité la tâche d'apprentissage et de mémorisation même si dans la condition 2D les participants ont rappelé plus de détails.

En outre, nous avons sélectionné le modèle de Thomas et Michel (1994) qui avait l'intérêt d'inclure le toucher et l'audio en canaux d'entrée informationnels, ce, en plus de la vision. Si nous établissons un parallèle avec notre cadre expérimental, nous pouvons nous apercevoir que les voyants mobilisent principalement la vision et l'audition pour traiter l'information, alors que les non-voyants vont s'appuyer sur le toucher et l'audition. Ainsi, le plan visuotactile du musée de l'Homme satisfait ces deux publics. Notons que pour le public voyant pouvoir découvrir le plan d'orientation par le toucher et la vision renforce la phase d'encodage de l'information afin de la stocker en mémoire à long terme.

Pour les usagers non-voyants, un plan visuotactile éclaté pourrait agir en tant que facilitateur pour l'acquisition de ces connaissances, tendant alors à confirmer la théorie de la différence (Kitchin, et al., 1997) selon laquelle voyants et non-voyants ont les mêmes capacités de cognition spatiale, et que des facteurs tels que l'environnement et l'expérience antérieure influent sur l'acquisition pour les non-voyants.

Ces résultats soulignent l'importance de la standardisation des plans d'orientation : en effet, si chaque Etablissement Recevant du Public propose à ses visiteurs le même plan d'orientation, cela permet aux usagers :

- d'encoder et de mobiliser leurs connaissances d'un usage à l'autre ;
- de gagner en efficacité et efficacité lors des usages : les points de repères sont identifiés plus rapidement ;
- des plans d'orientations standardisés agissent comme facilitateurs pour l'acquisition de la cognition spatiale chez les personnes non-voyantes.

4.6.2. Limites et améliorations

Cette expérimentation a également mis en exergue certaines limites du dispositif 3D pour être pleinement utilisé par les voyants. La première limite concerne les éléments en relief ; le « vous êtes ici » n'est pas suffisamment identifiable pour les voyants car il est à l'intérieur de la maquette, à 1 cm du bord extérieur. Du fait de son relief, il est facilement identifiable tactilement, mais du fait de sa position, il est peu identifiable visuellement. Dès lors, si les voyants ne touchent pas la maquette, ce que nous avons observé pour la majorité des participants (28 sur 30), le « vous êtes ici » n'est pas perçu. Néanmoins, certains participants ont proposé des pistes d'amélioration comme le mettre en fort volume et éclairé à l'aide d'une led par exemple, il deviendrait un point rouge lumineux attirant le regard et permettant d'être perçu en premier.

Un autre élément tactile qui a posé problème sont les escaliers. Sur ce plan conçu en 2015, nous avons utilisé le dégradé de traits pour représenter les escaliers. Or ce signifiant n'est pas reconnu par les participants (voir l'étude 1 du chapitre 5), ainsi certains participants étaient perturbés par le fait de ne pas voir de vrais escaliers en volume d'autant plus que les escaliers du musée de l'Homme sont monumentaux. Ces participants ont expliqué à l'expérimentatrice les avoir recherchés pour les aider à se situer. Ce retour confirme le fait que les escaliers agissent comme des éléments structurants de l'espace.

Ces deux retours concernant les repères « vous êtes ici » et « escalier » indiquent que ces deux éléments sont indispensables à l'orientation (Hatwell et Martinez-Sarocchi, 2003 ; Montello, 2010) et agissent comme point de repères (Golledge, 1999 ; Boumenir, 2011).

La seconde limite concerne la hauteur du dispositif qui est trop élevée pour certains, notamment pour les enfants. Certains participants ont indiqué être obligés de se mettre sur la pointe des pieds pour pouvoir accéder visuellement aux informations du niveau 5. En outre, les espaces complexifiaient l'accès visuel à toutes les informations car les étages supérieurs assombrissaient les étages inférieurs.

La troisième limite porte sur le choix des couleurs, non pas des contrastes qui ont été jugés suffisants, mais le fait d'utiliser le jaune et l'orange qui renvoyaient chez certains participants à l'idée de travaux publics.

La quatrième et dernière limite concerne la pertinence des services représentés. En effet, de nombreux participants ne voient pas l'intérêt de représenter les espaces privés qui ne les concernent pas, ils encodent en mémoire de travail une information qu'ils n'exploiteront pas, d'autant plus que dans le musée les espaces privés et les laboratoires de recherche ne sont pas accessibles au public. En outre, la littérature s'accorde sur le fait que lors de la conception d'un plan d'orientation, les concepteurs doivent réfléchir au propos du plan afin de décider quelles informations sont à inclure et lesquelles sont celles à exclure (Krygier et Wood, 2004 (cité par Ryder, 2015), Klippel et al., 2010, Montello, 2010, Lorenz et al., 2013). De même, il a été démontré que pour un plan destiné au public, les espaces privés ne doivent pas y figurer (Carpman et Grant, 1993 (cité par Ryder, 2015), Ulrich et al., 2008), ces espaces peuvent susciter la curiosité chez les visiteurs, curiosité qui se transforme en frustration et donc en insatisfaction en termes d'usage du dispositif. Notons que les personnes déficientes visuelles partagent cette opinion, en effet, lors d'échanges informels, des membres de l'Association Valentin Haüy (AVH) avaient également signifié que de représenter de façon hachurée toute la zone du musée de la Marine surchargeait inutilement le plan.

4.7. Conclusions et perspectives

Cette expérimentation valide partiellement nos hypothèses opérationnelles : si la condition 3D n'a pas amélioré la mémorisation des détails, elle a abouti à une représentation mentale de l'espace plus fidèle et à une meilleure performance de navigation mentale. Ces résultats vont globalement dans le sens de notre hypothèse théorique H2 supposant qu'un produit conçu pour des utilisateurs extraordinaires améliore l'expérience utilisateur pour tous.

Par rapport à notre modèle de l'utilisateur extraordinaire, ces résultats soulignent d'une part, la nécessité d'une conception universelle, en effet, le plan en écorché initialement conçu à partir des besoins du public déficient visuel a favorisé l'acquisition de la cognition spatiale chez les voyants.. Et d'autre part, le phénomène d'inversion observé en condition 2D fait émerger des besoins fondamentaux oubliés.

Enfin, cette étude a aussi permis d'identifier des limites au plan 3D utilisé, ainsi que de nouvelles améliorations qui pourront être bénéfiques à tous. *In fine*, nous nous apercevons

que les voyants et les déficients visuels rencontrent les mêmes problèmes de repérage spatial et de surcharge informationnelle.

Chapitre 5

Conception d'une gamme de pictogrammes visuotactiles universels

L'objectif de cette expérimentation est de concevoir une gamme de pictogrammes visuotactiles compréhensibles par tous des usagers. Elle s'inscrit dans notre hypothèse H2 selon laquelle de tels pictogrammes conçus à partir des besoins des utilisateurs avec déficience visuelle pourraient être plus performants pour des utilisateurs ordinaires (valides).

5.1. Contexte de l'expérimentation

Cette expérimentation répond à un besoin de Tactile Studio, dont les plans d'orientation incluent nécessairement des pictogrammes.

Dans ce cadre, Tactile Studio a conçu une gamme de pictogrammes compréhensibles par les personnes déficientes visuelles. Ces pictogrammes sont issus des connaissances d'une experte en retranscription tactile et de ses recherches réalisées lors des premiers projets de l'entreprise conduits auprès d'utilisateurs non-voyants. Le projet initiateur du développement de la gamme de pictogrammes fut celui de la création de bornes multisensorielles pour la Mairie de Paris, projet co-réalisé avec la Fédération des Aveugles de France (FAF) (Boisadan, Moreau, Nelson et Buisine, 2016 ; Boisadan et al., 2016). Toutefois, après plusieurs années d'usage de ces pictogrammes, et compte tenu de l'absence de standard dans ce domaine, l'entreprise a souhaité valider plus largement cette gamme de pictogrammes (auprès de publics variés) afin de la proposer comme référentiel aux acteurs tels que les signaléticiens.

A l'heure actuelle, nous constatons une grande variabilité des pictogrammes ; si nous prenons l'exemple du concept « ascenseur » (Figure 66), nous nous apercevons qu'il existe au moins six représentations graphiques, et certaines d'entre elles s'avèrent non adaptées à la transposition tactile. Cette variabilité implique également un processus d'apprentissage chaque fois que l'utilisateur est confronté à une nouvelle représentation graphique et/ou tactile du même concept. La charge cognitive inhérente à cet apprentissage engendre une diminution de l'efficacité du dispositif.



Figure 66 : exemples des multiples représentations graphiques du concept ascenseur (Unapei, 2012).

5.2. Etat de l'art

L'usage des pictogrammes est répandu dans l'ensemble des secteurs d'activités tels que le médical, l'éducation, les transports, la sécurité et bien évidemment la signalétique. Mais qu'est-ce qu'un pictogramme ? Comment sont-ils créés ? Quelles sont les normes relatives à leur conception ? Ces normes concernent-elles à la fois les pictogrammes visuels et les pictogrammes tactiles ? Cet état de l'art a pour but de répondre à ces interrogations. Ainsi, avant de définir ce qu'est un pictogramme, nous détaillerons tout d'abord l'importance pour le concepteur de prendre en compte les particularités de la discrimination tactile. Nous définirons, ensuite, ce qu'est un pictogramme puis nous présenterons les problèmes liés aux processus de conception et les limites d'usages.

5.2.1. La conception tactile

Dans le chapitre 2, nous avons détaillé les processus mis en œuvre lors de la découverte tactile ainsi que les spécificités du toucher : séquentialité, usage du pouce et de l'index ainsi que la sensibilité du lecteur. En outre, nous avons vu que nous explorons avec le bout de nos doigts sur lesquels sont disposés les mécanorécepteurs sur quelques millimètres.

Au regard des spécificités de la discrimination tactile et à partir de son expertise, Bris (n.d) a proposé un ensemble de recommandations pour la conception d'images et de plans d'orientation compréhensibles par les personnes non-voyantes. Afin d'illustrer son propos, Bris (2004) s'appuie sur une image type (Figure 67) réunissant trois éléments récurrents (texte, trait et surface) composant les illustrations tactiles afin de montrer les distances de séparation (espaces vides entre deux reliefs) minimum pour distinguer les différents éléments d'une retranscription. Ces distances sont résumées dans le Tableau 9 (Bris, 2004).

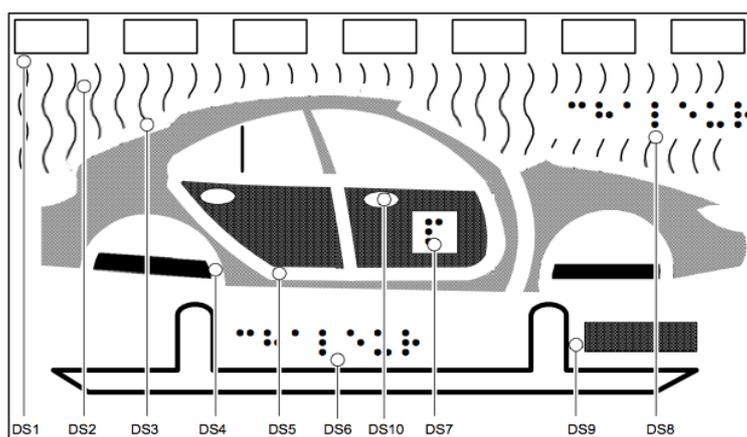


Figure 67 : dessin comportant les principales distances de séparation (Bris, 2004).

Tableau 9 : distances de séparation (Bris, 2004).

Localisation	Description	Distance
DS1	Intersection de deux traits fins	1 à 2 mm min
DS2	Deux traits fins (0,4 mm) parallèles	3 à 4 mm min
DS3	Intersection d'un trait fin avec une surface	4 à 5 mm min

DS 4/5	Surface en vis-à-vis	5 à 6 mm min
DS6 / 7 / 8	Texte vis-à-vis d'un élément trait ou de surface	4 à 5 mm min
DS9	Trait fin parallèle à une surface	4 à 5 mm min
DS 10	Vide minimal	6 à 8 mm min

Outre ces recommandations, l'expertise du concepteur est également importante, effectivement pour Eriksson (1998), trois composantes influent sur la qualité d'une image tactile : 1) posséder un bon aperçu de la perception tactile (connaissance des seuils de discrimination), 2) posséder des compétences artistiques et techniques et enfin, 3) savoir oublier les conventions visuelles pour représenter en tactile. En effet, les personnes non-voyantes se reposent essentiellement sur leur expérience proprioceptive et tactile pour interpréter les pictogrammes. Eriksson (1998) ajoute que tout transfert repose sur une analyse et une interprétation (subjective) du contenu et du message que l'on souhaite adresser. Le graphiste observe et se reconstruit l'objet mentalement qu'il exprimera en image tactile, dès lors toute retranscription implique un questionnement afin d'apporter des modifications : déterminer quels sont les éléments pertinents, restructurer l'image afin d'éliminer les éléments tels que la perspective, choisir de montrer les objets de profil ou de face et aligner l'ensemble des éléments.

De ce fait, la conception de pictogrammes visuels et tactiles implique de considérer ces règles et de respecter les critères de transposabilité (Bris, n.d) qui sont :

- **dimension** : les pictogrammes doivent être adaptés à la surface du doigt ;
- **pas de perspective** : la perspective est un concept de voyants et n'est pas compris par les personnes aveugles, en particulier ceux qui sont aveugles précoces ;
- **simplicité** : pour être compréhensibles, les pictogrammes doivent être simples et sans et épurés, sans embellissement ;
- **discriminabilité** : chaque élément composant un pictogramme doit être tactilement discriminable, ce qui signifie que le vide tactile de 2mm requis entre deux éléments doit être respecté.

Ces critères permettent aux personnes aveugles de se référer à leurs propres expériences pouvant différer des conventions visuelles, pour interpréter les pictogrammes.

5.2.2. Définition des pictogrammes

Du latin *pictus*, de *pingere* (« peindre »), et du grec *gramma* (« signe écrit ou tracé »), le mot « pictogramme » est défini par Gelb (1973) comme « une écriture en image ».

Dans le Larousse (2017), nous trouvons la définition suivante :

« Signe ou dessin schématique normalisé et destiné à renseigner les voyageurs dans les réseaux ferroviaires, les aéroports, à figurer des objets ou des faits sur une carte, etc. ».

Elle nous apparaît erronée et réductrice, erronée car les pictogrammes ne sont pas tous normalisés, en effet comme nous le verrons ci-après, selon le domaine d'usage, les concepteurs ne sont pas obligés de normaliser les pictogrammes qu'ils ont conçus. Réductrice car cette définition se réfère uniquement au champ de la signalétique en oubliant tous les autres.

Dans son ouvrage, Bordon (2004) définit le pictogramme comme un :

« Signe graphique iconique et conventionnel ayant une fonction communicative sans pour autant transcrire la langue ».

Comme le précise l'auteure, cette définition, issue de la sémiotique est un consensus entre différents auteurs du domaine (Floch, 1997 ; Vaillant, 1999 ; Fontanille, 2000).

Tijus et al. (2005) les caractérisent comme :

« Des représentations symboliques schématiques qui utilisent une image pour véhiculer une information le plus souvent de nature analogique, figurative pour informer ou indiquer des lieux, des objets, des directions, des actions ou des interdictions d'actions dans l'espace réel (une boîte de médicament, une route, une ville) ou virtuel (sur le bureau de l'ordinateur, sur Internet, etc.) »

Nous retiendrons cette dernière définition qui nous semble être la plus exacte pour les pictogrammes contemporains.

Dans tous les cas, le contexte est impératif, car il aide l'utilisateur à comprendre la signification de ce qu'il perçoit (Barcenilla et Tijus, 2002) et à donner un sens.

Il est également nécessaire d'apporter une clarification terminologique, en effet un pictogramme est le signifiant d'un signifié (une action, une information ou, une localisation de service) représenté selon plusieurs modalités : visuelle (graphique), et/ou tactile (en relief) voire même avec un feedback audio. Dès lors, plusieurs possibilités d'articulation s'offrent aux concepteurs : (1) utiliser le même signifiant visuel et tactile pour représenter un signifié donné ou (2) utiliser deux signifiants différents, un visuel et un tactile pour représenter un signifié. Le signifié est le concept illustré.

5.2.3. Pictogrammes et normalisation

Comme le souligne Bordon (2004) « la création d'un pictogramme est généralement un processus informel » (p. 35) même si, depuis les années 90 les organismes de normalisation (ISO et AFNOR) proposent des normes encadrant à la fois les pictogrammes existants et leur création. Nous pensons notamment à la norme ISO 7001 qui regroupe 79 pictogrammes touristiques d'informations destinés aux publics tels que les toilettes homme/ femme, salle de réunion, zone fumeur ou encore parking. Cette norme comprend les pictogrammes récurrents dans l'information des établissements recevants du public (ERP) et fournit des recommandations non pas sur la forme mais sur le contenu afin de permettre aux différents pays de les adapter à leurs us et coutumes culturelles (Vaillant, 1997). Chaque pictogramme

possède sa propre fiche qui comprend : le numéro de référence et la signification, le symbole graphique ainsi que la fonction du symbole et le contenu graphique (Schneider, 2014) (Figure 68).

N° de référence Signification	Symbole graphique	Fonction du symbole et contenu graphique	
		Fonction	Contenu graphique
PI PF 007 Eau potable		Indiquer de l'eau potable (du robinet)	Robinet au-dessus d'un verre contenant de l'eau représentée par des lignes ondulées

Figure 68 : fiche descriptive des pictogrammes de la norme ISO 7001 (d'après Schneider, 2014).

Les concepteurs n'ont pas obligation de tester les pictogrammes avant leur déploiement, toutefois la norme NF ISO / TR 7239 : 1990 propose des *Principes d'élaboration et de mise en œuvre des pictogrammes destinés à l'information du public*. Elle s'adresse aux concepteurs de pictogrammes d'utilité publique, aux centres de recherches, aux cabinets d'études et aux établissements recevant du public (ERP) (Bordon, 2004) et porte sur des recommandations de contenu graphique (forme, dimensions, couleurs,...) (Unapei, 2012).

Néanmoins, ces normes sont destinées aux pictogrammes *visuels* et, au regard de la spécificité de la conception tactile, ne sont pas applicables à la conception des pictogrammes en relief et accessibles, pour lesquels aucun standard n'existe.

5.2.4. Typologie des pictogrammes

Les pictogrammes sont habituellement classés selon leurs correspondances avec l'objet qu'ils représentent (Tijus et al., 2005) :

- **pictogramme figuratif** (ou représentationnel) : l'objet ou la situation de référence est reproduit de façon plus ou moins fidèle ou schématisée fournissant au lecteur des indices physiques non ambigus afin de faciliter la compréhension, comme par exemple le couteau et la fourchette pour représenter le restaurant ;
- **pictogramme abstrait** : l'objet ou la situation de référence sont évoqués via des concepts graphiques abstraits qui reprennent quelques aspects de la catégorie désignée par le pictogramme, comme par exemple les flèches haut et bas pour représenter l'ascenseur ;

- **pictogramme arbitraire** : les symboles utilisés pour reproduire l'objet ou la situation n'ont pas de correspondance physique mais symbolique, étant plus tributaires du facteur culturel comme par exemple la colombe pour signifier la paix.

Darras (1998) propose une typologie dans laquelle il positionne le pictogramme par rapport à d'autres représentations visuelles (Moliner, 2016) (Figure 69):

- les **similis** : représentation réaliste du signifié ;
- les **schémas** : reprises d'une ou plusieurs caractéristiques figuratives du signifié ;
- les **iconotypes** : schéma typique du signifié ;
- les **pictogrammes** : ce sont des iconotypes qui ont été validés par les usagers. Ils reprennent des caractéristiques figuratives du signifié.

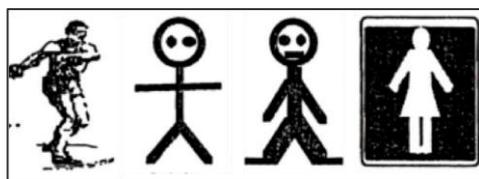


Figure 69 : de gauche à droite : simili, schéma, iconotype, pictogramme (d'après Darras, 1998).

5.2.5. L'universalité des pictogrammes

Il subsiste un postulat selon lequel les pictogrammes seraient « universellement compréhensibles » (Bordon, 2004). Comme le souligne Vaillant (1997), les concepteurs de pictogrammes actuels visent l'universalité de leurs œuvres. Or il s'avère que la compréhension n'est pas intuitive et que les pictogrammes ne sont pas adaptés à tous les contextes d'usage. A partir de leurs travaux, Tijus et al. (2005), ont listé les avantages et inconvénients de l'usage des pictogrammes de manière générale (Tableau 10).

Tableau 10 : avantages et inconvénients de l'usage des pictogrammes selon Tijus et al. (2005).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - International sans besoin d'apprendre une langue - Pouvoir attractif et de discrimination plus important que le verbal - Représentation possible des informations complexes et/ou multidimensionnelles - Identification précise et rapide en un regard et à une distance plus grande que les mots (Collins et Lerner 1982 ; Lehto, 1992) 	<ul style="list-style-type: none"> Rarement compréhension optimale : - Tout symbole a une part arbitraire et implique un apprentissage. Une grande variabilité dans leur représentation d'une même situation ou dans l'indication d'une instruction - Clarté, précision et signification non garantie quand le contexte change ou est mal défini - Pas utilisable pour représenter une information complexe - Un même pictogramme dans des situations variées engendre des significations multiples

<ul style="list-style-type: none"> - Traitement en parallèle accroissant la vitesse d'indentification et de compréhension - Meilleure résistance que les mots aux interférences cognitives et identification plus rapide en situation dégradée - Mieux mémorisé car l'utilisateur effectue un codage plus profond consolidant la trace en mémoire - Couplé à du texte, le pictogramme est plus efficace 	<p>pouvant amener des méprises interprétatives quand le contexte ne donne pas suffisamment d'informations</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Le Ministère de la Culture et de la Communication (2010) rapporte d'autres inconvénients quant à l'usage des pictogrammes : 1) il est impossible de tout exprimer par un simple pictogramme, parfois une mention complémentaire se doit d'être ajoutée, 2) c'est indéniable, l'acception universelle est impossible (différences culturelles), 3) un apprentissage préalable est parfois nécessaire principalement pour les personnes atteintes de handicap mental.

5.2.6. Difficulté de conception des pictogrammes

Nous retrouvons dans la conception des pictogrammes les difficultés de la conception universelle, à savoir la conception grand public vs conception spécifique. Habituellement lorsqu'un produit est destiné à un marché de masse, l'utilisateur type est « valide » et possède l'ensemble de ses capacités sensorielles (vue, ouïe, toucher, ...), dès lors, si nous menons un test utilisateur avec ce dernier, il est peu probable qu'il souligne, par exemple, le manque de contraste entre la couleur de la police d'écriture et celle du fond du support comme pourrait le faire une personne malvoyante. *A contrario*, lorsque nous concevons un produit pour un public cible comme par exemple les personnes non-voyantes, si nous reprenons l'exemple (Cf. 2.2.2) du plan d'orientation comportant uniquement du Braille et des pictogrammes très codifiés, il n'est pas utilisable par le grand public.

Une autre source de variabilité liée aux individus est la capacité d'abstraction et plus particulièrement la distance articulatoire. La distance articulatoire est la différence entre l'image et sa signification, plus la distance est élevée plus l'utilisateur doit fournir un effort de compréhension (Brangier et Gronier, 2000). Ainsi plus les signes pictographiques sont abstraits moins les utilisateurs sont performants en termes de rapidité d'interprétation et plus ils commettent d'erreurs (Blankenberger et Hahn, 1991).

Au regard de cet état de l'art, la problématique de cette expérimentation est de trouver des représentations communes dont (1) la présentation graphique soit compréhensible par des voyants avec des capacités cognitives, sensorielles, culturelles variables (enfants, adultes, seniors, malvoyants, etc.) et (2) la présentation tactile soit compréhensible par des non-voyants précoces et tardifs.

Le parti pris au sein de Tactile Studio est de proposer un signifiant unique (visuel identique au tactile) pour un signifié. Ce choix se justifie par des raisons (1) de lisibilité, en effet les personnes malvoyantes peuvent être gênées dans leur lecture lorsque le relief ne correspond pas au graphique, (2) d'espace, nous pourrions employer deux signifiants différents et les positionner de manière juxtaposée sur le plan d'orientation mais cela aurait pour effet de doubler la charge informationnelle et de prendre beaucoup d'espace, et enfin (3) d'esthétisme, un seul signifiant est plus esthétique que deux signifiants différents superposés ou juxtaposés.

Notre objectif est de développer une gamme de pictogrammes visuotactiles, qui serait compréhensible par toutes les populations incluant des adultes, des enfants, des personnes âgées, des étrangers et des personnes déficientes visuelles.

5.3. Présentation des trois études

Dans la section sur la Conception Universelle nous avons présenté deux approches soutenant la conception pour des usagers à capacités variables, à savoir Top-down (adaptative) et Bottom-up (proactive). En cohérence avec le modèle de l'utilisateur extraordinaire, nous avons initialement choisi une approche top-down : une première gamme de pictogrammes adaptée aux capacités tactiles des utilisateurs aveugles et à leurs représentations mentales a été conçue ; puis, la forme visuelle de ces pictogrammes a été évaluée par des utilisateurs ordinaires voyants provenant de la population cible. Toutefois, comme nous le développerons, il s'est avéré être nécessaire de reconcevoir plusieurs pictogrammes selon une approche Bottom-up. Ci-dessous nous présentons le processus d'évaluation avec les utilisateurs ordinaires (étude 1), une analyse spécifique de l'impact des couleurs sur la compréhension des pictogrammes par les utilisateurs voyants (étude 2) et une série de séances de créativité qui ont été menés avec des adultes voyants, aveugles adultes et enfants voyants (étude 3).

5.3.1. Etude 1 : enquête initiale

Une gamme initiale de pictogrammes visuotactiles a été conçue par plusieurs graphistes experts, incluant une experte en transcription tactile pour les plans d'orientation. Ces pictogrammes prennent en compte les contraintes d'accessibilité, la représentation mentale spécifique des utilisateurs aveugles, les critères de transposabilité, les seuils de vides et de séparation (Bris, 2004 ; cf. Figure 67 et Tableau 9) ainsi que les conventions visuelles existantes. Ils ont été évalués par la Fédération des Aveugles de France (Boisadan et al., 2016) et se sont révélés tactilement lisibles et compréhensibles par les utilisateurs aveugles. Dix concepts ont été identifiés (Tableau 11) comme les plus récurrents sur les plans d'orientation et favorisant la structuration spatiale. Pour certains de ces concepts, plusieurs signifiants existent.

En suivant ce processus, l'objectif de l'étude 1 est de valider la compréhension de la forme visuelle de ces pictogrammes auprès du grand public (adultes et enfants).

Tableau 11 : concepts et signifiants adaptés aux capacités et représentations mentales des utilisateurs aveugles.

Concepts	Signifiants		
Accueil			
Point information			
Escaliers			
Accès			
Ascenseur			
Toilettes			
Echelle			
Vous êtes ici			
Restaurant			
Rose des vents			

5.3.1.1. Méthodologie

5.3.1.1.1. Participants

Au total, 327 participants de langue française ont pris part à cette étude, dont 297 adultes (groupe 1) et 30 enfants (groupe 2). Le tableau ci-dessous (Tableau 12) présente les caractéristiques de notre échantillon. Nous n'avions ni de critères d'inclusion ni d'exclusion concernant les caractéristiques personnelles des participants.

Tableau 12 : caractéristiques de l'échantillon de l'étude 1 de l'expérimentation 2.

	Adultes	Enfants
Age moyen	33, 5 ans $\sigma = 10,58$ min = 21 ans, max = 65 ans	9, 9ans $\sigma = 1,27$ min = 7 ans, max = 11 ans
Genre	64% de femmes et 36% d'hommes	56,6% de filles et 43,3 % de garçons
Répartition diplôme (adultes) - Répartition classes (enfants)	Baccalauréat = 3% Deug= 2% Licence=8% Master= 64% Doctorat = 17% Autres = 6%	CP= 0% CE1= 17% CE2= 50% CM1= 13% CM2= 20%
Répartition CSP (adultes)	Prof. intermédiaire = 4% Cadre= 56% Employé= 15% Retraité= 1 % Etudiant= 19 % Artisan, commerçant, chef d'entreprise= 1 %	/
Déficiences visuelle	23 % oui Troubles : - myopie - astigmatisme - presbytie hypermétropie - daltonisme - strabisme - amblyopie - kératocône - cataracte congénitale	23,3 % oui Troubles : - myopie - hypermétropie - ne sait pas
Déficiences auditive	3% oui Troubles : - surdité d'une oreille - surdité moyenne - acouphène - perte acuité sonore - atténuation des aigus - surdité complète	100 % non
Déficiences motrice	100 % non	100 % non
Déficiences cognitive	100 % non	100 % non
Troubles « dys »	5% oui - dyslexique - dyspraxique	100 % non
Main dominante	83% droitiers 12% gauchers 5% ambidextres	74% droitiers 13% gauchers 13% ambidextres

Concernant l'usage des plans d'orientation 74% des adultes ont déclaré être habitués à en utiliser alors que 67% des enfants ont déclaré ne jamais en utiliser.

5.3.1.1.2. Matériel expérimental

Le questionnaire, commun aux deux groupes, comportait deux parties.

Partie 1 : usage plan d'orientation

Dans un premier temps, nous demandions aux adultes d'évaluer leur niveau d'expertise d'usage des plans d'orientation sur une échelle en 7 points de type Likert. Puis, dans un deuxième temps, ils nous indiquaient les informations essentielles qu'ils s'attendent à trouver sur un plan intérieur et extérieur via deux questions ouvertes.

Cette partie a été simplifiée pour le groupe des enfants ; nous leur demandions de nous indiquer s'ils savaient ce qu'étaient des plans d'orientation et s'ils en avaient déjà utilisés.

Partie 2 : identification des pictogrammes

Chacun des 19 signifiants (Tableau 11) a été associé à la question ouverte suivante : « selon vous, que représente ce pictogramme ? ».

5.3.1.1.3. Procédure

Pour le groupe des adultes, les passations étaient auto-administrées via un questionnaire en français créé sur l'application web « Typeform » et diffusé en ligne sur plusieurs réseaux : LinkedIn, Facebook, ErgoList, ErgoIHM.

Pour le groupe des enfants, l'expérimentatrice leur montrait un à un les pictogrammes en leur demandant de lui dire ce que chaque pictogramme représentait pour eux. Elle notait les réponses. Les passations étaient individuelles. Nous avons collaboré avec le centre aéré de Pantin, les passations se sont déroulées au sein de leur local.

5.3.1.2. Résultats

5.3.1.2.1. Analyse des données

Pour les deux groupes, nous avons calculé le pourcentage de compréhension (réponses justes) et de non compréhension (réponses fausses) pour chaque pictogramme. Par exemple, pour le pictogramme « cafeteria » nous considérons justes des réponses du type « café », « cafet », « bar » et fausses des réponses du type « boisson chaude », « machine à café ».

5.3.1.2.2. Résultats

Partie 1 : usage plan d'orientation

Les adultes ont obtenu un score moyen de 5 (SD= 2) concernant leur usage des plans d'orientation, cela signifie qu'ils utilisent régulièrement les plans d'orientation. Sur les plans d'orientation intérieurs ils s'attendent à trouver les informations : vous êtes ici, toilettes, liste des services, les accès, les ascenseurs et les escaliers. Sur les plans d'orientation extérieurs, ils s'attendent à trouver également le vous êtes ici ainsi que les points d'intérêts majeurs, la dénomination des rues, les transports, la rose des vents et les bâtiments importants.

Pour les enfants, 57% ont déclaré avoir déjà vu un plan d'orientations parmi lesquels 20% déclarent les utiliser parfois et 13% souvent.

Partie 2 : identification des pictogrammes

Au total, 19 signifiants ont été évalués, pour chacun d'entre eux, nous avons calculé le pourcentage de réponses justes et de réponses fausses, ce, pour les deux groupe (Tableau 13). Nous les avons classés en trois catégories : 1) pictogrammes reconnus par 80% ou plus des participants (en vert dans le tableau), 2) les pictogrammes moyennement reconnus (en orange dans le tableau), c'est-à-dire un taux de reconnaissance compris entre 60 et 79%, et, 3) les pictogrammes non reconnus (en rouge dans le tableau) dont le taux de reconnaissance est inférieur à 60%.

Tableau 13 : pourcentage d'identification des signifiants par les enfants et les adultes (vert : reconnus ; orange : moyennement reconnus ; rouge : non reconnus).

Signifiants	Concepts	% Adultes (n=297)		% Enfants (n=30)		
		Oui	Non	Oui	Non	
	Accueil	2,71	97,29	3,33	96,67	
	Point information	65,76	34,24	23,33	76,67	
	Cafeteria	1	88,14	11,86	70	30
		2	63,39	36,61	40	60
		3	66,44	33,56	56,67	43,33
		4	73,90	26,10	30	70

	Escalier	1	4,75	95,25	3,33	96,67
		2	13,56	86,44	6,67	93,33
	Accès	1	20,68	79,32	3,33	96,67
		2	2,37	97,63	3,33	96,67
		3	0,68	99,32	3,33	96,67
	Ascenseur	1	0,68	99,32	0	100
		2	90,85	9,15	20	80
		3	54,92	45,08	63,33	36,67
	Toilettes		91,53	8,47	83,33	16,67
	Echelle		71,19	28,81	37	63
	Vous êtes ici	1	36,95	63,05	16,67	83,33
		2	11,19	88,81	10	90
		3	36,95	63,05	10	90
	Restaurant	1	99,32	0,68	93,33	6,67
		2	90,17	9,83	63,33	36,67
	Rose des vents	1	94,92	5,08	83,33	16,67
		2	84,75	15,25	73,33	26,67

Dix pictogrammes n'ont pas été reconnus (« accueil » et tous les signifiants d'« escaliers », « accès » et « vous êtes ici »). Seulement trois (toilettes, restaurant et rose des vents 1) ont été bien reconnus par les enfants et les adultes (Tableau 13). Pour les pictogrammes non reconnus, nous avons relevé les interprétations non attendues (Tableau 14).

Tableau 14 : Interprétations des adultes et des enfants des pictogrammes qui n'ont pas été reconnus.

Pictogrammes	Concepts	Interprétation des signifiants non reconnus	
		Adultes	Enfants
	Accueil	wifi (38%), ne sait pas (20%), panorama (16%)	oeil (34%), ne sait pas (16%), wifi (13%)
	Point information	/	ne sait pas (40%)

	Cafeteria	2	/	petit déjeuner (30%), restaurant (21%), manger et boire (12%), boulangerie (12%)
		4	/	tasse (20%), boire (20%), verre (17%)
	Escaliers	1	ne sait pas (36%), thermomètre (17%)	température (23%), batterie (20%), ne sait pas (20%)
		2	ne sait pas (55%)	ne sait pas (43), du plus petit au plus grand (10%)
	Accès	1	ne sait pas (27%)	triangle (40%), direction (15%), sens interdit (12%)
		2	ne sait pas (42%), distance (12%)	ne sait pas (20%), droite-gauche (17%),guillemets (10%), grand et petit (10%)
		3	Up-going elevator (28%), going up (26%)	ascenseur (33%), ne sait pas (20%)
	Ascenseur	1	ne sait pas (63%)	ne sait pas (23%), appareil photo (16%), feu de voiture (13%), téléphone portable (13%)
		2	/	toilettes (47%)
	Echelle		/	ne sait pas (17%), ligne (17%)
	Vous êtes ici	1	ne sait pas	ne sait pas
		2	ne sait pas (53%), point d'intérêt (15%)	ne sait pas (28%), cercle (9%), rond-point (9%), cible (9%), interdit (9%)
		3	ne sait pas (22%), cible (16%)	cible (30%), ne sait pas (13%), point et cercle (10%)

Les interprétations erronées des adultes sont souvent « je ne sais pas » contrairement aux enfants qui tentent de donner une interprétation à tous les signifiants ; ces dernières sont descriptives et dépendent de l'expérience de vie des enfants (école, environnement social).

5.3.1.3. Discussion

La majorité de ces signifiants initialement conçus pour les utilisateurs aveugles ne sont pas compris par les utilisateurs tout-venants, en particuliers ceux qui sont non figuratifs et très orientés déficience visuelle comme par exemple les pictogrammes « accueil » ou « escaliers » (Tableau 13). A contrario, nous savons que ces deux pictogrammes sont facilement rapidement reconnus par les aveugles lorsqu'ils sont sur un plan d'orientation. Pour les voyants, le signifiant « accueil » signifie un faible signal WIFI. Ces résultats suggèrent que si nous prenons uniquement en compte les besoins et les perceptions des usagers non-voyants, les signifiants ne seront pas compris et reconnus par les usagers voyants.

Les enfants ont compris les pictogrammes les plus figuratifs tels que ceux du restaurant (couteau, fourchette, assiette / couteau fourchette). Une première explication porte sur leur faible capacité d'abstraction, en effet, les réponses des enfants sont descriptives. Par exemple, pour le signifiant 2 de « cafétéria » les enfants ont répondu « petit déjeuner » ou « manger et boire ». Une seconde explication peut être la similarité entre plusieurs signifiants, par exemple pour le signifiant « ascenseur », plusieurs enfants ont répondu « toilettes » parce que nous y voyons deux personnes côte à côte sur le pictogramme.

En outre, plusieurs limites méthodologiques ressortent de cette étude. Par exemple, présenter plusieurs signifiants alternatifs pour un même signifié aux enfants semblent inappropriés car ils peuvent vouloir donner volontairement une réponse différente à chaque signifiant. D'autre part, les signifiants ont été évalués hors contexte d'usage et étaient uniquement graphiques (visuels). Les résultats auraient pu être différents avec des pictogrammes insérés dans des plans d'orientation et l'interprétation aurait pu être partiellement guidée par des repères contextuels. Néanmoins, notre objectif était d'examiner leur compréhension absolue sans contexte, de ce fait une évaluation complémentaire *in situ* devrait être effectuée avec des signifiants visuotactiles (au lieu d'un format purement graphique) afin d'établir l'influence du tactile sur l'interprétation, ce, même pour les adultes.

Enfin, nous avons vu que la couleur peut parfois influencer les réponses des participants. Par exemple, lorsque le concept « escaliers » est représenté graphiquement dans un gradué de rouge, nous obtenons des réponses de type « ce pictogramme indique la température » alors que lorsqu'il est graphiquement représenté dans un gradué de noir nous obtenons des réponses tel que « ce pictogramme représente un code barre ». Ainsi, afin de mieux évaluer la potentielle influence de la couleur sur l'interprétation des signifiants, nous avons conduit l'étude 2 avec un sous-ensemble de pictogrammes.

5.3.2. Etude 2 : influence de la couleur

Le but de cette étude est d'analyser l'impact de la couleur sur la compréhension des pictogrammes chez les adultes voyants.

5.3.2.1. Méthodologie

5.3.2.1.1. Participants

Au total 45 participants ont été recrutés pour cette étude dont 24% de femmes et 76% d'hommes. La moyenne d'âge était de 30,1 ans (écart-type = 17,96 ; min = 19 ; max = 61). La population est issue de l'école d'Ingénieurs du CESI. Nous n'avons ni des critères d'inclusion ni d'exclusion.

5.3.2.1.2. Matériel expérimental

Afin d'évaluer l'impact de la couleur sur la compréhension, nous avons sélectionné 6 pictogrammes (vous êtes ici, toilette, ascenseur, escalier, accès et point information) que nous retrouvons habituellement sur les plans d'orientation, et nous les avons déclinés en 4 couleurs (noir, rouge, vert, bleu) chacun, nous avons choisi les couleurs RVB auxquelles nous avons ajouté le noir (couleur standard). Nous obtenons un total de 24 pictogrammes (Figure 70).



Figure 70 : pictogrammes utilisés pour l'étude 2 (de gauche à droite : accès, ascenseur, escaliers, point information, vous êtes ici, toilettes) et déployés dans les quatre couleurs cibles (noir, bleu, vert et rouge).

Nous avons conçu quatre questionnaires différents afin que n'apparaisse qu'une seule version par coloris d'un pictogramme par questionnaire. Chaque participant ne répondait qu'à un des 4 questionnaires, ainsi 7 personnes ont répondu au questionnaire 1, 11 personnes ont répondu au questionnaire 2, 14 personnes ont répondu au questionnaire 3 et 13 personnes ont répondu au questionnaire 4.

5.3.2.1.3. Procédure

Les questionnaires étaient administrés par l'expérimentatrice, elle montrait un à un les pictogrammes aux participants, en leur demandant à chaque fois, de répondre dans leurs propres mots à la question : « *Ce pictogramme signifie selon vous* ». Elle notait leurs réponses.

5.3.2.2. Résultats

5.3.2.2.1. Analyse de données

Les réponses spontanées étaient codées 1 quand la couleur influençait la réponse ou 0 quand il n'y avait pas d'impact de la couleur.

5.3.2.2.2. Résultats

Nous observons un faible impact de la couleur sur les réponses des participants (Tableau 15).

Tableau 15 : pourcentage de l'impact de la couleur sur l'interprétation de chaque pictogramme.

Pictogrammes	Couleurs			
	Noir	Rouge	Vert	Bleu
Vous êtes ici	0%	0%	7%	0%
Toilette	0%	86%	0%	0%
Ascenseur	0%	0%	2%	0%
Escalier	0%	57%	36%	0%
Accès	0%	0%	0%	0%
Point information	0%	0%	29%	0%

En analysant les verbatim, nous nous apercevons que le rouge et le vert ajoutent des informations sur l'interprétation des pictogrammes, en particulier pour les pictogrammes toilette, escaliers et point information. Par exemple, quand les escaliers sont présentés en rouge, les participants répondaient « escaliers interdits », de même lorsque les toilettes étaient présentées en rouge, ils répondaient « toilettes occupées » ou interprétaient la couleur rouge comme une « interdiction ». A contrario, la couleur verte signifiait « ouvert », « accessible » ou « permission ». Néanmoins, la couleur rouge n'impacte pas l'interprétation du pictogramme « vous êtes ici », cela signifie que nous pouvons employer cette couleur pour ce dernier afin d'attirer l'attention des usagers au premier coup d'œil.

Les couleurs noire et bleue n'ont pas influencé l'interprétation des pictogrammes.

5.3.2.3. Discussion

Pour la future gamme de pictogrammes que nous souhaitons concevoir, nous pourrions utiliser le noir et/ou le bleu. Quand cela est pertinent, nous pourrions utiliser le rouge pour signifier une notion d'interdiction ou de danger et le vert pour la permission. Ces résultats sont similaires à ceux de la littérature qui stipule que les pictogrammes d'avertissement peuvent être en rouge, orange ou jaune pour représenter l'idée de « danger » (Lin, Chang, Liu, 2015). Toutefois, cette étude permet de confirmer l'équivalence entre le bleu et le noir et le fait qu'ils n'interfèrent pas dans la compréhension de la signification des pictogrammes. Nous notons également, que l'usage du rouge pour représenter le concept « vous êtes ici » est possible pour attirer l'attention de l'utilisateur voyant sans en altérer sa compréhension.

5.3.3. Etude 3 : conception de nouveaux pictogrammes

Au regard des résultats de l'étude 1, il apparaît nécessaire de reconcevoir plusieurs pictogrammes originels. D'un point de vue méthodologique, notre approche « top-down » initiale, c'est-à-dire de concevoir des pictogrammes universels en partant des besoins particuliers des non-voyants, s'est avérée être insuffisante. Dès lors, nous avons choisi de

compléter notre processus avec une série de sessions de créativité afin de relever les idées et représentations de trois catégories d'utilisateurs, à savoir les adultes voyants, des personnes déficientes visuelles et des enfants voyants. Dans l'étude 3, nous utilisons une approche « bottom-up » plutôt que « top-down » qui repose sur des méthodes participatives plutôt que sur des méthodes expertes qui ont donné lieu à la première série de pictogrammes.

L'approche participative de conception de pictogrammes est originale en elle-même, en particulier avec le fait d'inclure des enfants et des utilisateurs aveugles. Nous avons choisi cette méthode qui semblait être la plus susceptible de faire ressortir les représentations mentales des participants sans l'aide d'experts, et ainsi de mettre en évidence les similitudes et les différences entre les aveugles et les adultes et enfants voyants. L'implication de participants aveugles dans des études de créativité est rare et complexe (Brock et al., 2016 ; Hendricks et al., 2015).

5.3.3.1. Méthodologie

5.3.3.1.1. Participants

Quatre sessions de créativité ont été menées : deux groupes adultes composés de 6 participantes pour le premier (GA1) et de 16 participants pour le second (GA2) dont les moyennes d'âges étaient respectivement de 30 ans (min = 26, max = 43, $\sigma = 6,46$) et 23 ans (min = 21, max= 31, $\sigma = 2,50$), d'un groupe d'enfants (GE) (n=6) dont la moyenne d'âge était de 13 ans (min =11 , max= 15, $\sigma =2,06$) et d'un groupe de personnes déficientes visuelles (GDV) (n=7) dont la moyenne d'âge était de 58 ans (min = 48, max= 66, $\sigma =6,52$) et dont 4 participants étaient malvoyants et 3 étaient non-voyants.

Pour le premier groupe tout-venants nous avons sélectionné des étudiantes de master 2 Numérique : Enjeux et Technologies (NET) de Paris 8, les étudiantes provenaient des diverses origines ethniques pouvant influencer sur les propositions graphiques. Pour le second groupe nous avons sélectionné des étudiants en école de Design de Nantes, pour lesquels nous avons supposé une appétence à la créativité. Les séances de créativité se sont déroulées à Paris 8 pour le premier groupe et à l'école de Design pour le second groupe.

Pour le groupe des enfants, nous avons sélectionné des enfants inscrits dans un atelier de création de Bandes Dessinées, pour lesquels nous avons supposé une aisance à dessiner. En effet, il était important que les participants n'aient aucune barrière dans leurs productions graphiques, or certains enfants peu à l'aise avec le dessin n'auraient peut-être pas osé dessiner ou faire des propositions créatives. Les séances de créativité se sont déroulées au centre aéré.

Pour le groupe de personnes déficientes visuelles, nous avons collaboré avec l'Association Valentin Haüy (AVH). Les séances de créativité se sont déroulées dans leurs locaux.

5.3.3.1.2. Matériel expérimental

Pour chaque groupe nous mettions à disposition le même matériel :

- feuilles blanches A4 (1 feuille par personne et par concept) ;
- gommettes (3 x nombre participants x nombre concepts) ;
- feutres noirs et de couleurs ;
- grandes feuilles post-it (phase collective) (1 page par concept).

5.3.3.1.3. Procédure

Pour chaque groupe, la procédure était identique (Figure 71).

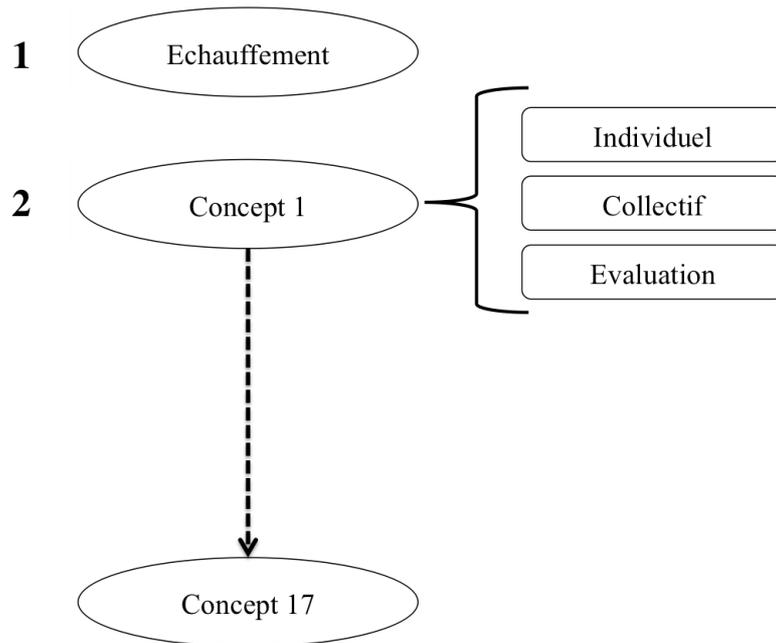


Figure 71 : déroulement d'une séance de créativité.

1) Echauffement

L'objectif de l'échauffement était de mettre les participants dans de bonnes conditions et d'éliminer toute pensée parasite. Nous avons choisi de proposer une énigme, cette méthode est adaptée aux trois groupes, à savoir :

Devinette : « Un homme rentre dans un bar, il commande un verre d'eau. Le barman le regarde, sort un pistolet et lui pointe sur la tempe. L'homme s'en va. Que s'est-t-il passé ?

Réponse : la personne qui entre dans le bar a le hoquet »

Nous laissons maximum 5 minutes aux participants pour trouver la réponse. Une fois le temps écoulé, l'expérimentatrice donnait la réponse aux participants si ces derniers ne l'avaient pas trouvée. Seul le groupe 1 a trouvé la bonne réponse.

2) Créativité

Une fois la phase 1 d'échauffement terminée, nous enchaînions avec la génération d'idées. Le processus de créativité (inspiré par Wallas, 1926 cité par Lubart et al., 2015) était identique pour tous les groupes. Notre objectif était d'avoir une procédure unique qui pourrait être appliquée aux adultes, aux enfants et aux personnes déficientes visuelles en termes de compréhension, de simplicité et de durée. La structure générale de la sessions suit celle des étapes classiques de brainstorming (Orsborn, 1953), débiter par une phase de divergence dédiée à une génération d'idées et de partage d'idée puis enchaîner avec une phase de convergence dédiée à l'évaluation des productions créatives.

Avant de commencer l'expérimentatrice rappelait, via un support ppt, aux participants l'objectif de la séance de créativité « *Vous faire réfléchir sur différentes concepts de pictogrammes* » ainsi que les règles fondamentales pour les phases de production d'idées :

1. Suspendez votre jugement
 - Pas de critiques
 - Pas d'approbation
 - Pas de jugement
 - Ne détruisez pas le moral du groupe
 - Pas d'évaluation
2. L'imagination la plus folle est la bienvenue
3. Cherchez la quantité
4. Associez librement vos idées les uns aux autres

Ensuite, l'expérimentatrice énonçait à l'oral un concept cible à illustrer, le nom du concept était également affiché sur un support power point lors des séances avec les deux groupes d'adultes et celle des enfants:

- 1) **Phase individuelle (4 minutes)** : les participants commençaient individuellement à dessiner un maximum de représentations graphiques sur des feuilles A4. Ils pouvaient utiliser les couleurs qu'ils souhaitaient. Le groupe des participants déficients visuels pensaient aux représentations graphiques sans dessiner, certains d'entre eux essayaient de dessiner. La consigne était la suivante « *Individuellement, essayez de trouver le maximum de façons de représenter graphiquement le concept* ».
- 2) **Phase collective (4 minutes)** : une fois la phase individuelle terminée, les participants voyants (enfants et adultes) se réunissaient autour d'une feuille post-it afin de dessiner un maximum de propositions ensemble. Pour cela, ils pouvaient reproduire ce qu'ils avaient fait en individuel mais ils étaient surtout encouragés à combiner leurs idées pour faire des productions communes et à les enrichir. Pour le groupe des participants déficients visuels, l'expérimentatrice dessinait pour eux à partir des descriptions orales et des discussions entre les membres du groupe. La consigne était la suivante : « *A partir de vos propositions individuelles, n'hésitez pas à créer de nouvelles représentations ou de combiner vos propositions entre elles* ».

Pour les phases individuelle et collective, un rappel était également affiché sur le support power point concernant le fait de ne se mettre aucune barrière dans la productions d'idées : « *N'oubliez pas, aucune barrière, exprimez toutes les idées qui vous passent par la tête* ».

- 3) **Phase évaluation (2 minutes)** : pour terminer, chaque participant devait évaluer quelle(s) production(s) étai(en)t la(les) plus représentative(s) du dit concept. Pour cela, pour chaque concept, l'expérimentatrice leur avait distribué trois gommettes « coup de cœur » à dispatcher sur les propositions collectives : ils pouvaient mettre leurs 3 gommettes sur une, deux, ou trois productions différentes. Pour le groupe des participants déficients visuels, l'expérimentatrice commençait par rappeler oralement les différents dessins présents sur la feuille postit puis attribuait les gommettes aux productions à partir des consignes des participants. La consigne était la suivante : « *Vous disposez de trois gommettes, allez les placer sur le ou les pictogrammes qui représentent le mieux le concept* » (Figure72).

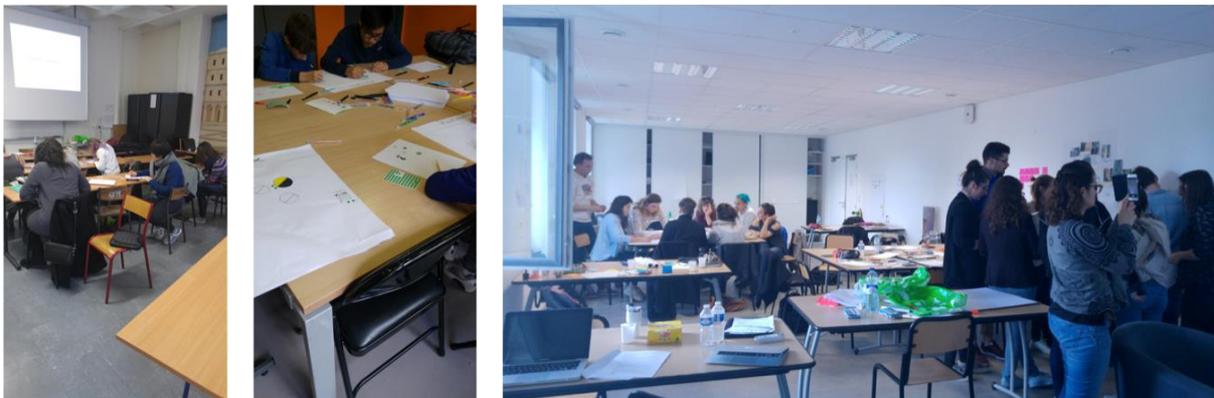


Figure 72 : à gauche: groupe 1 en phase individuelle ; au centre : groupe enfants en phase collective ; à droite : groupe 2 en phase d'évaluation.

Chaque phase était chronométrée, au bout du temps écoulé une sonnerie retentissait. Ce cycle de production individuelle, collective et évaluation était répété pour chaque concept à illustrer. Nous avons estimé que 10 minutes par concept était acceptable permettant d'aborder l'ensemble des concepts, ainsi la durée totale de la séance était d'environ 3 heures pour les deux groupes d'adultes tout venant et de 2 heures pour les groupes d'enfants et de personnes déficientes visuelles.

5.3.3.2. Résultats

5.3.3.2.1. Analyse des données

En premier lieu, nous avons analysé qualitativement les productions collectives. Ensuite, pour chaque concept, nous avons identifié l'idée principale, le pourcentage de gommettes coup de cœur attribuées et une représentation graphique type. Notre critère de sélection était l'originalité de l'idée et la possibilité de transposer le dessin en un pictogramme visuotactile qui nécessite de considérer les détails et la dimension.

5.3.3.2.2. Résultat

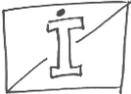
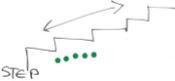
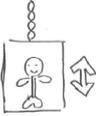
Au total, 2208 représentations graphiques ont été proposées soit 1758 individuelles et 450 collectives (Tableau 16).

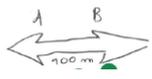
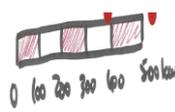
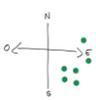
Tableau 16 : tableau recensant le nombre de propositions graphiques individuelles (Ind) et collectives (Coll) pour les 4 groupes : les 2 groupes contrôles (GA1 et GA2), le groupe enfants (GE) et le groupe de personnes déficientes visuelles (GDV).

	GA1 (n =6)		GA2 (n =16)		GE (n=4)		GDV (n=7)		Tot I	Tot C
	Ind	Coll	Ind	Coll	Ind	Coll	Ind	Coll		
Toilettes / WC	43	11	60	7	13	7	8	11	124	36
Ascenseur	37	10	62	5	10	2	9	7	118	24
Escaliers	29	11	64	7	9	4	9	8	111	30
Accueil	35	13	68	6	5	5	6	3	114	27
Vous êtes ici	40	14	67	5	4	4	10	10	121	33
Accès	46	18	66	4	6	5	7	9	125	36
Issue secours	36	12	43	5	6	5	7	6	92	28
Cafeteria	43	17	66	4	/	/	/	/	109	21
Restaurant	30	20	56	7	9	6	9	8	104	41
Pts cardinaux	27	13	65	5	8	5	3	4	103	27
Plan orienté	22	13	35	5	/	/	0	3	57	21
Pt information	26	11	69	6	/	/	6	6	101	23
Echelle	28	17	52	6	7	4	/	/	87	27
Vestiaire	34	14	61	4	3	4	/	/	98	22
Billetterie	26	11	40	4	/	/	/	/	66	15
Transport	27	11	66	4	/	/	/	/	93	15
Zone détente	28	11	100	9	7		/	/	135	24
Total	557	227	1040	93	87	51	74	75	1758	450

Le tableau 17 montre l'idée principale, le pourcentage de gommettes coup de cœur attribuées et une représentation graphique type. Nous avons considéré le concept « échelle » comme secondaire, de ce fait nous ne l'avons pas soumis au groupe de participants déficients visuels afin de diminuer la durée de la session de créativité.

Tableau 17 : propositions graphiques pour chaque groupe et pictogramme.

Concepts	G1 Adultes	G2 Adultes	Enfants	Personnes déficientes visuelles
Accueil	 humain 50%	 humain + « i » 41,7%	 humain 50%	 « i » 27,8%
Escaliers	 escalier de profil+ flèches 61,1%	 escalier de profil + humain 58,3%	 escalier de profil 66,7%	 escalier de profil 61,1%
Accès	 flèches + porte 38,9%	 flèches + porte 37,5%	 flèches + porte 50%	 flèches + porte 83,3%
Ascenseur	 bouton+ flèches 33,3 %	 cage d'ascenseur+ flèches 75%	 cage d'ascenseur+ flèches + humain 100%	 cage d'ascenseur+ flèches + humain 50%

Toilettes	 papier toilette 44,4%	 femme / homme 41,7%	 WC 33,3%	 WC + Braille 61,1%
Echelle	 règle 44,4 %	 règle 70,8	 règle 50%	/
Vous êtes ici	 cible 77,8%	 cible 91,6%	 cible 50%	 cible 72,2%
Restaurant	 assiette + couverts 22,2%	 couverts 12,5%	 burger 50%	 couverts 61,1%
Rose des vents	 rose des vents 94,4%	 rose des vents 37,5	 rose des vents 33,3%	 rose des vents 94,4%

Les représentations graphiques proposées et retenues sont plus figuratives que celles de la gamme initiale de Tactile Studio. Toutefois, parmi les 4 groupes, les propositions des

personnes non-voyantes sont les moins figuratives et sont couplées à du texte. Ces résultats corroborent avec ceux de la première étude, pour rappel, les pictogrammes non reconnus par les voyants (enfants et adultes) étaient ceux les moins figuratifs mais demeurant être les plus efficaces tactilement.

Pour chaque concept, nos conclusions sont :

- **Accueil / Point information** : nous observons que dans les représentations des enfants et des adultes il y a un humain alors que dans celle des participants déficients visuels, la lettre « i » pour « point information » est utilisée. Pour notre nouveau signifiant, nous avons décidé de garder la lettre « i », nous justifions notre choix par le fait que cette représentation graphique est la seule compatible avec les critères de transposabilité et est l'un des seuls pictogrammes à être standardisé (ISO 7001, 2007). En outre, ce signifiant a été reconnu par les adultes voyants dans notre étude 1 mais pas par les enfants, cela représente la principale limite de notre choix.
- **Escaliers** : tous les groupes ont représenté des escaliers de profils. Cette représentation semble être une parfaite alternative à celle des escaliers vus du dessus qui n'a pas été reconnue dans l'étude 1.
- **Accès** : tous les groupes ont représenté une flèche à travers une porte. Nous retenons cette idée mais ne maintenons pas la perspective proposée par le groupe voyant 2 et celui des enfants. Alors que les flèches seules n'ont pas été reconnues dans l'étude 1, l'étude 3 souligne l'importance du contexte, effectivement, la présence de la porte donne le sens à la flèche.
- **Ascenseur** : les flèches haut et bas sont présentes dans les représentations des quatre groupes. Les enfants et les participants déficients visuels ont ajouté un humain aux flèches abstraites. Nous avons choisi de garder les flèches car dans l'étude 1 les enfants ont confondu « ascenseur » et « toilettes » lorsque le signifiant de l'ascenseur incluait un humain. De plus, les flèches sont tactilement plus compatibles avec les critères de transposabilité.
- **Toilettes** : les deux groupes des adultes ont proposé des représentations figuratives alors que les enfants et les participants déficients visuels ont proposé une représentation arbitraire (WC) que nous avons décidé de garder.
- **Echelle** : tous les groupes ont proposé une échelle graduée. Nous avons retenue l'idée du segment auquel nous ajouterons en fonction du projet, des nombres en écriture noire et Braille au-dessus.
- **Vous êtes ici** : la notion de « cible » ressort des quatre groupes, cela explique notre choix de proposer un signifiant illustrant une cible en assumant que le volume aidera les utilisateurs à comprendre que cette cible en volume signifie « vous êtes ici ».
- **Restaurant** : le groupe des adultes et de celui des déficients visuels ont proposé des couverts (couteau et fourchette) pour illustrer ce concept, cette proposition est similaire à un signifiant de l'étude 1 qui a bien été reconnu par les enfants (63,33% de reconnaissance) et les adultes (90,17% de reconnaissance). Nous gardons donc le couteau et la fourchette.

- **Rose des vents** : tous les groupes ont proposé une rose des vents pour illustrer ce concept. Ce résultat confirme celui de l'étude 1. Nous avons donc retenu la rose des vents avec l'indication en écriture noire et en Braille du Nord.

Nous avons également observé que les participants emploient majoritairement la couleur noire pour dessiner alors qu'ils avaient à disposition des feutres de couleurs. Ces résultats corroborent avec ceux de l'étude 2.

5.3.3.3. Conception des nouveaux pictogrammes

Pour la conception de la nouvelle gamme de pictogrammes visuotactiles, nous nous sommes appuyés sur les résultats des études 1 et 3, les idées retenues respectent deux critères : 1) être adaptés et compréhensibles par un maximum d'utilisateurs adultes (voyants et déficients visuels, enfants voyants) et 2) respecter les critères de transposabilité (dimension, perspective, simplicité et discriminabilité). Nous avons sélectionné deux méthodes de production : les pictogrammes considérés comme essentiels pour structurer mentalement l'espace sont imprimés en 3D (pictogrammes en volume), et ceux considérés comme secondaires sont imprimés par injection d'UV (pictogrammes en 2D ½). Les pictogrammes imprimés en 3D ont une hauteur de 6mm et ceux imprimés par injection UV ont une hauteur maximale de 2mm.

Pictogrammes pour l'impression 3D

Les pictogrammes produits par impression 3D sont : vous êtes ici, accueil (point information), escaliers, accès, toilettes et ascenseur (Figure 73).



Figure 73 : pictogrammes imprimés en 3D (de gauche à droite : vous êtes ici, point information, escaliers, accès, toilettes, ascenseurs).

Pictogramme pour l'impression par injection UV

Les pictogrammes produits par injection UV sont : échelle, restaurant et rose des vents (Figure 74).



Figure 74 : pictogrammes imprimés par injection UV (de gauche à droite : échelle, restaurant, rose des vents).

Intégration de ces pictogrammes dans un plan d'orientation

Quatre de ces nouveaux pictogrammes (vous êtes ici, escaliers, échelle et accès) ont été utilisés dans un projet en Allemagne pour le Deutsches Museum (Figure 75) afin d'éprouver leur efficacité. L'objectif de ce projet était de concevoir des plans d'orientation pour chaque

espace du musée. Ces plans sont visuotactiles et incluent de l'audio fournissant de l'information sur le contenu des salles d'exposition.



Figure 75 : nouveaux pictogrammes (de gauche à droite échelle, : vous êtes ici, escaliers, escaliers et accès).

Le plan d'orientation prototype a été testé au musée, auprès d'un échantillon composé d'adultes allemands voyants et déficients visuels. Les participants déficients visuels (n=20) étaient pour la majorité nés aveugles. Les résultats de ce test montrent que tous les pictogrammes insérés dans le plan ont été reconnus et compris par les participants voyants et déficients visuels. Néanmoins, nous avons observé plusieurs limites aux pictogrammes en volume.

La première limite concerne l'impression en volume des pictogrammes : il n'y a plus de hiérarchie dans l'information, or, la hiérarchisation des informations est fondamentale pour permettre aux utilisateurs aveugles de percevoir en premier les informations importantes (Boisadan et al., 2016). En particulier, le pictogramme « vous êtes ici » qui doit être identifié en premier lors de l'exploration tactile pour permettre aux utilisateurs de structurer leur représentation mentale de l'espace et de se localiser dans l'environnement. De plus, le pictogramme « escalier » imprimé en 3D est plus saillant que celui du « vous êtes ici » et est donc perçu tactilement en premier. Dès lors, des nouvelles calibrations et dimensionnement devraient être trouvés pour optimiser l'usage du volume pour favoriser la cognition spatiale chez les utilisateurs aveugles.

5.3.4. Discussion

L'objectif de cette expérimentation était de concevoir des pictogrammes visuotactiles universels, ce qui représente un défi pour la société (permettre la participation sociale de tous incluant les personnes atteintes d'un déficit) et de nombreuses entreprises et institutions

(fournir un plan d'orientation accessible à leurs clients et visiteurs). Le challenge porte d'une part, sur l'absence de standardisation pour la conception de pictogrammes graphiques employés dans les plans d'orientation. D'autre part, s'il existe des standards, ils ne répondent pas aux critères de transposabilité et ne peuvent être utilisés en tant que pictogrammes visuotactiles. De surcroît, les recommandations concernant la conception d'informations tactiles sont très limitées (ETSI, 2002). Dans ce contexte, cette expérimentation apporte deux contributions principales étant, respectivement, méthodologique et pratique (nouvelle gamme de pictogrammes).

La contribution méthodologique concerne le processus utilisé pour concevoir des produits universels. Pour rappel, la conception universelle (Vanderheiden, 1997 ; Vanderheiden et Tobias, 2000) est définie comme « la conception de produits et d'environnements qui peuvent être utilisés par tous, dans un maximum de contextes possibles, sans nécessité d'adaptation ou de conception spécifique » (Story, Muller, Mace, 1998). Dans cette expérimentation, nous avons pu tester deux approches de la conception universelle (Plos et al., 2012) : top-down (adaptative) et bottom-up (proactive), nos résultats tendent à favoriser la seconde. En effet, le premier set de pictogrammes visuotactiles évalués dans l'étude 1, avait été conçu par des experts afin de répondre aux besoins spécifiques des utilisateurs aveugles dans le but de tester la possibilité d'étendre leur usage à la population générale. Cette approche top-down ne semble pas adaptée étant donné que la majorité de ces pictogrammes n'a été reconnus et compris par les utilisateurs voyants (enfants et adultes). Dès lors, un plan d'orientation comprenant ces pictogrammes ne peut pas être considéré comme universel. Ainsi pour reconcevoir des pictogrammes visuotactiles universels, nous avons conduit des séances de créativité (étude 3) avec des adultes voyants, des enfants voyants et des adultes déficients visuels. Notre objectif était de trouver des signifiants incluant les représentations mentales de ces trois catégories d'utilisateurs, ce qui correspond à une approche bottom-up. Dans notre cas, ce processus s'est avéré être plus efficace ; alors que l'approche top-down a engendré la conception de pictogrammes trop spécifiques, l'approche bottom-up nous a permis de prendre en considération les capacités, besoins et attentes de différents publics dans la conception des pictogrammes et de croiser leurs besoins.

Cette expérimentation invalide partiellement nos hypothèses H1 et H2. En effet, le modèle de l'utilisateur extraordinaire correspond davantage à l'approche top-down initialement suivie. Ce résultat nous incite à considérer en amont du processus d'innovation non pas une seule catégorie d'utilisateurs extraordinaires, mais plusieurs (ici : des enfants et des usagers non et malvoyants) afin de croiser leurs capacités, attentes et besoins. Cette perspective sera à considérer pour de futurs projets utilisant la méthode de l'utilisateur extraordinaire.

Même si les premiers retours concernant l'usage de la nouvelle gamme de pictogrammes visuotactiles sont concluants, nous souhaitons poursuivre nos travaux afin de valider l'universalité de nos pictogrammes. Nous souhaitons reproduire une expérimentation similaire à celle effectuée dans l'étude 1 dans laquelle nous demanderons à des adultes et enfants voyants de nous indiquer ce que représentent les pictogrammes pour eux. Nous pourrions ajouter la dimension culturelle, en répliquant cette étude dans un pays de culture très différente (ex : en Asie).

La contribution pratique concerne les séries de pictogrammes utilisés dans nos trois études. Dans ce cadre, tant ceux qui ont été validés que ceux qui n'ont pas été validés peuvent intéresser les praticiens et signaléticiens. Les pictogrammes qui n'ont pas été reconnus dans l'étude 1 peuvent aider les praticiens à questionner leurs choix et ainsi éviter des erreurs de conception. Par exemple, la confusion entre les pictogrammes « ascenseur » et « toilettes » dans les réponses des enfants est particulièrement intéressante. Dans la logique de notre modèle de l'utilisateur extraordinaire, ce résultat nous a permis de redécouvrir des besoins fondamentaux. L'étude 2 répond à la sous-question de l'influence de la couleur sur l'interprétation des pictogrammes. Par exemple, la couleur rouge a, à la fois, massivement influencé l'interprétation de certains pictogrammes (e.g., « toilettes ») et eu aucune influence sur d'autres (e.g., « vous êtes ici » ou « ascenseur »). Même si ces résultats nécessitent d'être renforcés et répliqués sur un échantillon plus large et hétérogène, incluant des origines culturelles différentes, ils fournissent des pistes de conception aux signaléticiens. Enfin, les séances de créativité conduites avec des participants adultes, enfants et déficients visuels ont également mis en exergue des résultats originaux comme par exemple le fait que des représentations mentales de concepts d'orientation sont, en partie, partagés par ces trois catégories d'utilisateurs. Certes, d'autres recherches sont nécessaires pour affiner nos pictogrammes, néanmoins, les résultats de l'étude 3 tendent à suggérer que le propos général de concevoir des pictogrammes visuotactiles universels peut être atteignable et n'est pas utopique. Toutefois, certains défis sont encore à relever, tels que les spécifications parfois antagonistes entre les enfants, qui préfèrent des pictogrammes figuratifs, et les utilisateurs aveugles qui eux préfèrent des représentations abstraites ou arbitraires.

La principale limite de cette expérimentation est le manque de variabilité culturelle. Les trois études ont été conduites en France, ce qui peut probablement influencer nos résultats. Bien que le test final des pictogrammes ait été réalisé en Allemagne, nous sommes conscients de l'ampleur de la tâche pour tester et affiner nos pictogrammes sur la base des retours et des idées des personnes (à la fois voyantes et déficientes visuelles) à travers le monde.

Chapitre 6

Questionnaire d'intuitivité

L'objectif de cette expérimentation est de concevoir et valider un questionnaire d'intuitivité simplifié d'INTUI (Ullrich et Diefenbach, 2010) afin qu'il soit utilisable avec des enfants et qu'il permette d'évaluer tout type de produit. Cette expérimentation s'inscrit dans notre hypothèse H2 même si elle ne permet pas de la tester directement : en effet l'objectif est de fournir un outil qui pourra permettre de réaliser de futures expérimentations plus précises dans le cadre de H2.

6.1. Contexte de l'expérimentation

Pourquoi nous intéresser à l'intuitivité des produits ? D'une part la notion d'intuitivité est le troisième des sept principes de la conception universelle, d'autre part, de nos jours, au-delà de l'utilisabilité, tout le monde (industriels et utilisateurs) réclame des produits intuitifs. Mais qu'est-ce qu'un produit intuitif ? Comment le définir ? Comment le concevoir ? Et surtout, comment l'évaluer ? Nous avons parcouru la littérature afin de répondre à ces interrogations. Plusieurs constats émergent de notre recherche : le premier est que peu d'auteurs se sont intéressés à cette notion, hormis Blackler et ses collègues qui ont créé le groupe de recherche « Intuitive Use of User Interfaces » (Blackler et Hurtienne, 2007). Le second constat est qu'à notre connaissance, il n'existe qu'un seul outil validé dédié à la mesure de l'intuitivité d'un produit, il s'agit du questionnaire INTUI (Ullrich et Diefenbach, 2010), sans compter les questions dans les divers questionnaires d'évaluation de l'expérience utilisateur qui comprennent des items du type « ce produit est intuitif » qui restent très larges et sans décomposition conceptuelle de la notion d'intuitivité. Enfin, à notre connaissance il n'existe pas de méthode formalisée permettant de concevoir un produit intuitif.

Compte tenu de l'importance de la notion d'intuitivité pour la conception universelle et pour le test de notre hypothèse H2, nous avons tout d'abord utilisé le questionnaire INTUI (Ullrich et Diefenbach, 2010) dans nos études. Ces premières expériences ayant fait apparaître les limites de cet outil, nous avons par la suite décidé de le faire évoluer. L'objet de ce chapitre est d'exposer notre démarche de reconception et validation d'un questionnaire d'intuitivité.

6.2. Etat de l'art

L'objectif de cet état de l'art est d'investiguer le domaine de l'interaction intuitive. Nous débiterons par une définition de ce concept puis nous établirons un rapprochement entre l'intuitivité et la notion d'affordance. Ensuite, nous présenterons le modèle *Intui* proposé par Ullrich et Diefenbach (2010) et le questionnaire de mesure qui lui est associé. Enfin, nous expliquerons en quoi l'intuitivité est liée à la conception universelle.

6.2.1. Définition

6.2.1.1. Interaction intuitive

Quel est le point commun entre l'iPad d'Apple, l'A3 d'Audi, la montre Samsung Gear S2 et le pommeau de douche d'Hansgrohe (Figure 76) ?



Figure 76 : exemples de produits dont l'intuitivité est un argument de vente.

La réponse est que ces quatre produits sont intuitifs, du moins c'est ce que les marques ont décidé de mettre en avant dans leurs publicités. Pour l'utilisateur, cette intuitivité sous-entend une expérience utilisateur améliorée avec des produits simples d'utilisation et plaisants à utiliser. Instinctivement, l'utilisateur associe « intuitif » à « intuition » et donc au fait qu'il pourra utiliser le produit spontanément, sans apprentissage et que son usage sera source de plaisir. Pourtant « intuition » et « interaction intuitive » sont, pour ainsi dire, deux notions antinomiques.

En effet, pour Blackler et ses collègues (Blackler, 2006; Blackler, Popovic, and Mahar, 2002; Blackler, Popovic, and Mahar, 2003a, b, 2004a, b, 2005) « l'usage intuitif de produits implique d'utiliser les connaissances acquises à travers d'autres expériences. Par conséquent, les produits utilisés intuitivement par les personnes sont ceux avec des caractéristiques qu'ils ont déjà rencontrées. Une interaction intuitive est rapide et généralement non-consciente, les individus sont incapables d'expliquer comment ils prennent des décisions lors d'une interaction intuitive ». A l'inverse, dans le sens commun, l'intuition est un processus qui ne s'appuie sur aucune expérience antérieure. A titre d'illustration, le Larousse définit l'intuition comme une

« *connaissance directe, immédiate, de la vérité, sans recours au raisonnement, à l'expérience* ». Selon ces deux définitions, l'intuition serait de l'ordre de l'inné et l'interaction intuitive de l'acquis.

Au regard de ces définitions, les industriels semblent se positionner davantage dans le domaine de l'interaction intuitive et s'appuient sur les expériences antérieures des usagers pour concevoir leurs nouveaux produits et promouvoir l'intuitivité de ces derniers.

A partir de différents travaux, Blackler, Popovic et Mahar (2010) proposent 5 propriétés caractérisant une interaction intuitive :

1) Expérience antérieure

Blackler, Popovic et Mahar (2010) partent du principe que l'intuition est liée aux expériences antérieures, pour cela, ils s'appuient les travaux de différents auteurs (Bowers et al., 1990 ; Bastick, 2003, cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010 ; Noddings et Shore, 1984, cité par Blackler, Popovic et Mahar 2010 ; Dreyfus et al., 1986 ; Boucouvalas, 1997, cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010 ; Klein, 1993 ; Rasmussen, 1993 ; Wickens et al., 1998, cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010) qui s'accordent sur le fait que l'intuition découle des connaissances expérientielles. La mémoire et les sens seraient à l'origine de l'intuition (Bowers et al., 1990 ; Boucouvalas, 1997 cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010).

2) Traitement non-conscient

Un traitement non-conscient signifie que l'utilisateur n'est pas capable d'expliquer les différentes sous étapes pour effectuer sa tâche étant donné qu'il n'a pas eu besoin de réfléchir à la manière d'interagir. Pour Bowers (1984), l'information peut être perçue par l'utilisateur sans qu'il s'en aperçoive et être exploitée sans être encodée dans la mémoire à long terme.

3) Vitesse

L'interaction intuitive permet aux utilisateurs d'effectuer leur tâche plus rapidement car elle n'implique pas un raisonnement ou un processus analytique qui ralentirait l'interaction (Bastick, 2003 cité par Blackler, Popovic et Mahar (2010) ; Salk, 1983 cité par Blackler, Popovic et Mahar (2010)).

4) Différence individuelle

L'intuition est disponible pour tous et peut être mobilisée si besoin, selon le contexte (Bastick, 2003 cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010 ; Bowers et al., 1990 ; Klein, 1998). Woolhouse et Bayne (2000) ont démontré qu'il n'y a aucun lien entre le genre et l'intuition.

Toutefois, dans leur étude, Blackler, Popovic et Mahar (2010) ont démontré que les participants de 20 et 30 ans accomplissent les tâches plus rapidement et intuitivement que les personnes ayant plus de 40 ans. Leurs résultats corroborent ceux de la littérature (Langdon et al., 2007 cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010; Lewis et al., 2008 cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010) qui a démontré que l'âge (temps de réaction, traitement cognitif en déclin) impacte la durée et le taux d'erreurs dans la réalisation d'une tâche. L'âge affecte

également la capacité à retenir les informations acquises lors d'expériences antérieures (Baracat et Marquie, 1994 cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010; Howard et Howard, 1997 cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010; Kok et al., 1994), en effet, la prise de décision, la mémoire de travail et l'attention jouent un rôle dans l'acquisition et le transfert d'information.

5) Exactitude de l'intuition

Par essence, une intuition serait correcte et agirait comme un guide, cela est lié au fait qu'elle se développe au fil des expériences (Bastick, 2003 cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010). Néanmoins, Klein (1998) et Eysenck (1995, cité par Blackler, Popovic et Mahar, 2010) soulignent qu'une intuition peut s'avérer erronée si l'expérience antérieure est elle-même erronée. En effet, l'utilisateur peut reproduire une tâche suivant son expérience et donc son intuition sans savoir qu'elle est fautive.

Pour définir leurs propriétés les auteurs ont parcouru la littérature portant sur l'intuition, littérature qui aborde l'intuition comme acquise et non innée. A notre sens, les recherches menées actuellement dans ce domaine sont, certes des premières pistes mais demeurent contradictoires. La confusion entre intuition et interaction intuitive est similaire à celle existant entre l'affordance selon Gibson (1977, 1979) et selon Norman (1988). En effet, McGrenere et Ho (2000) proposent un état des lieux sur la perception de la notion d'affordance dans la littérature sur l'Interaction Homme-Machine et soulignent le manque de clarification sur ce concept.

6.2.1.2. Affordance

Le concept d'*affordance* est bien connu en ergonomie et plus particulièrement dans l'expérience utilisateur. Ce concept a été popularisé dans le domaine du design par Norman (1988), mais doit ses origines à Gibson (1977, 1979) et à ses travaux sur la perception en psychologie écologique.

Selon Gibson, l'affordance est définie comme « une possibilité d'action dans l'environnement disponible à un individu, indépendamment de la capacité de l'individu à percevoir cette possibilité » (McGrenere et Ho, 2000).

Selon Norman, l'affordance « se réfère aux propriétés perçues et réelles de la chose, principalement les propriétés fondamentales qui déterminent la façon dont la chose pourrait éventuellement être utilisée ».

In fine, l'intuition correspondrait à l'approche de Gibson (1977, 1979) et l'interaction intuitive à celle de Norman (1988). En effet, selon Gibson, une affordance existe ou n'existe pas tout comme une intuition alors que pour Norman l'affordance dépend des propriétés perçues de l'objet chez l'utilisateur et est donc tributaire de son expérience antérieure tout comme l'interaction intuitive.

Prenons deux exemples pour illustrer ces approches (Figure 77) ; le premier exemple illustre l'approche de Gibson, il s'agit du réflexe archaïque de l'agrippement que nous observons chez les bébés jusqu'à l'âge de 6 mois, lorsque nous mettons devant un bébé un doigt tendu ou un

objet avec une forme similaire, le nourrisson l'agrippe immédiatement avec sa main et ne le lâche plus. Le second exemple illustre l'approche de Norman, il s'agit d'une chaise. Au fil des années, nous avons appris que ce mobilier est fait pour s'asseoir, ainsi lorsque nous rencontrons un mobilier avec des caractéristiques identiques ou similaires (des pieds, une assise, dossier, etc.) nous savons qu'il est fait pour s'y asseoir.



Figure 77 : à gauche : approche selon Gibson, à droite : affordance selon Norman.

Ces définitions, mêmes contradictoires, nous éclairent sur la notion d'intuitivité et sur ses répercussions chez les utilisateurs et les industriels. Les utilisateurs souhaitent avoir le sentiment de vivre une expérience intuitive lorsqu'ils utilisent un produit, ils ne veulent pas apprendre, commettre des erreurs mais désirent une interaction fluide avec des réponses des systèmes concordants à leurs actions sans que cela engendre des apprentissages et des erreurs (nous retrouvons ici la notion d'utilisabilité), le tout sans avoir conscience qu'ils mobilisent ses connaissances antérieures. Au regard de ces attentes, les industriels souhaitent offrir des produits donnant cette illusion de naturel et d'interaction par l'intuition, se basant sur les connaissances et procédures acquises par les usagers. Pour cela, les industriels peuvent s'appuyer sur divers courants en ergonomie que ce soit l'expérience utilisateur, la captologie (Fogg, 2003), le design émotionnel (Norman, 2004 ; Walter, 2011) qui tendent à procurer aux usagers un plaisir, des émotions voire même une relation symbiotique avec les produits qui dépassent les critères d'efficacité, d'efficience et de satisfaction. L'intuitivité est sous-entendue dans chacune de ces approches sans avoir été formalisée en tant que tel.

En conclusion, nous proposons un schéma récapitulatif du parallèle entre intuitivité et affordance (Figure 78).

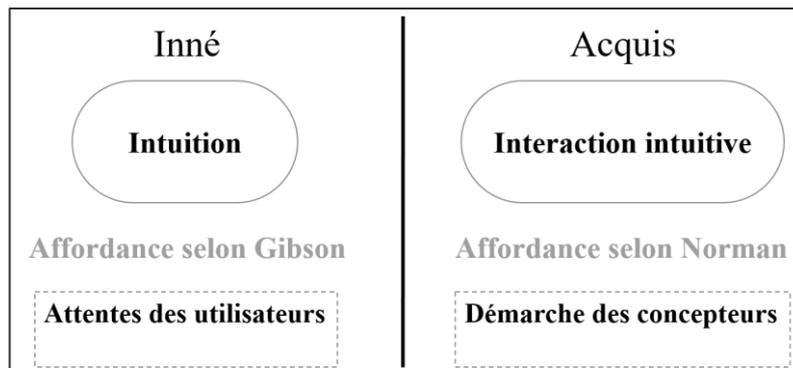


Figure 78 : schéma récapitulatif de la distinction intuition et interaction intuitive et le parallèle avec l'affordance.

6.2.2. Modèle d'intuitivité

A travers leur modèle d'intuitivité, Ullrich et Diefenbach (2010) souhaitent explorer le phénomène d'une interaction intuitive dans une perspective d'expérience utilisateur. Pour le concevoir, ils ont exploré la littérature sur la prise de décision intuitive et ont réalisé des entretiens pour faire émerger les ressentis subjectifs lors d'une interaction avec un produit.

Le modèle INTUI comprend quatre composantes englobant, selon les auteurs, la nature multi-dimensionnelle d'une interaction intuitive :

- **instinctif** : une interaction intuitive est guidée par les ressentis, de manière non-consciente et non-analytique ;
- **verbalisable** : lors d'une interaction intuitive, les individus ne sont pas capables de verbaliser les décisions et les différentes étapes réalisées pour effectuer la tâche, voire même oublient de verbaliser (Diefenbach et Ullrich, 2015) ;
- **sans effort** : une interaction intuitive est rapide et engendre peu d'effort cognitif ;
- **expérience magique** : lors d'une interaction intuitive, les individus ont le sentiment de vivre une expérience magique, les auteurs rapportent des commentaires émis lors de leurs études tels que « incroyable » ou « extraordinaire » pour qualifier l'interaction.

Ces quatre composantes peuvent être influencées par des facteurs de premier niveau (le produit, le contexte et l'utilisateur) et de second niveau (le mode d'utilisation, l'intégration du jugement et la distance de transfert du domaine) (Figure 79).

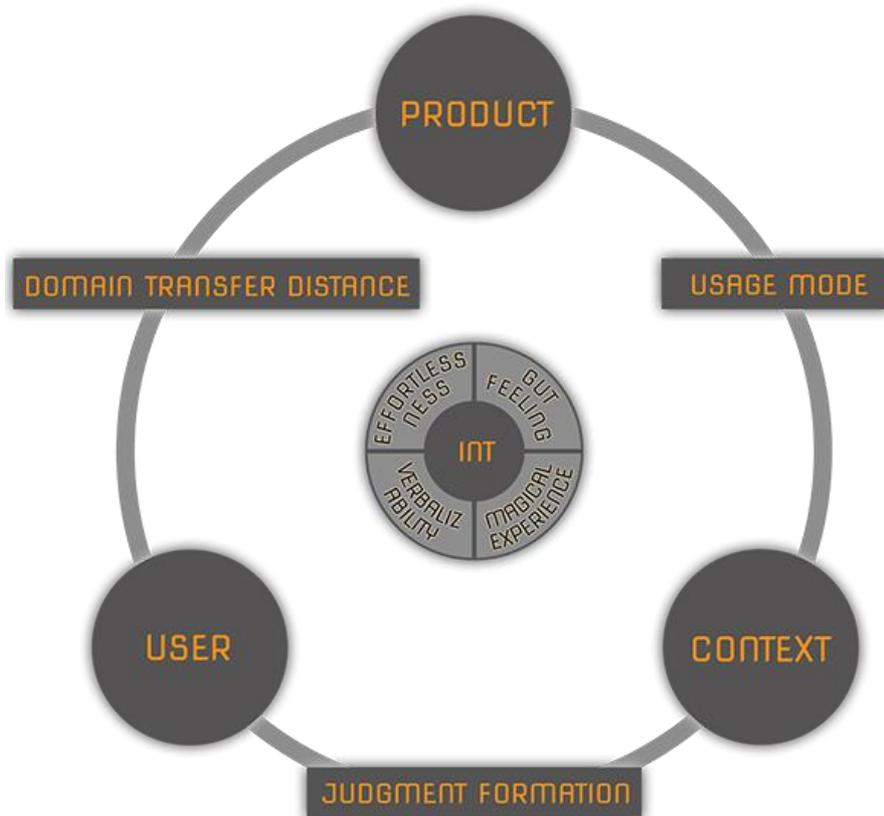


Figure 79 : modèle Intui (Ullrich et Diefenbach (2010)).

Détaillons ces facteurs.

Facteurs de premier niveau

Le produit est l'un des facteurs centraux, en effet, une différence même infime entre deux produits peut influencer significativement le jugement relatif à l'intuitivité.

Les caractéristiques de l'utilisateur et le contexte influencent également l'interaction. L'une des caractéristiques importantes est constituée des connaissances antérieures et du niveau d'expertise de l'utilisateur vis-à-vis de l'activité cible. Ullrich et Diefenbach (2010) ont démontré que pour des utilisateurs novices l'intuitivité dépend de la dimension « expérience magique » alors que pour des utilisateurs experts l'intuitivité dépend de la dimension « sans effort ».

Facteurs du second niveau

Le mode d'utilisation concerne le type de tâche réalisée par l'utilisateur. Les composantes du modèle sont plus ou moins pertinentes selon le type de tâches, les auteurs ont observé que la dimension « verbalisable » est plus prégnante quand il s'agit d'une tâche avec un but à atteindre, comme par exemple, réserver un ticket en ligne.

La formation du jugement se crée au fil des usages avec des produits afin de former un jugement global d'intuitivité. Le jugement se crée à partir de l'intuitivité perçue du produit, cette dernière étant positive quand le produit réagit comme l'utilisateur s'attend à ce qu'il réagisse. Au fil des interactions, il a développé des connaissances qu'il applique lors de l'utilisation de nouveaux produits. Par exemple, un utilisateur est familier de la marque A de Smartphone, s'il change de téléphone et prend un Smartphone de marque B, il le trouvera moins intuitif car il avait acquis des procédures et était habitué aux modes d'interactions avec le Smartphone A. Ce serait la même chose, pour un utilisateur passant du Smartphone B au A.

La distance de transfert du domaine affecte également les dimensions : une faible distance entre le domaine d'acquisition de connaissances et le domaine d'application actuel affecte les dimensions « sans effort » et « verbalisable » alors qu'une grande distance entre les deux domaines affecte les dimensions « instinctif » et « expérience magique » (Ullrich et Diefenbach, 2011).

6.2.3. Le questionnaire d'intuitivité

Ce questionnaire est donc issu des recherches de Ullrich et Diefenbach (2010), il permet d'apprécier l'intuitivité perçue d'un produit et a été conçu à partir du modèle INTUI (Ullrich et Diefenbach, 2010) composé de quatre dimensions : sans effort, instinctif, expérience magique et verbalisable. Les auteurs ont testé sa fiabilité et sa validité à travers trois études empiriques auprès de 334 participants.

Seize questions reprennent les quatre dimensions de leur modèle ; ces dernières sont présentées sous forme d'échelles sémantiques différentielles en 7 degrés (Osgood, Suci et Tannenbaum, 1957) dont une portant spécifiquement sur l'intuitivité :

- Questions dimension « sans effort »
 - (*Pendant l'usage du produit ...*) ... il m'a fallu beaucoup d'efforts pour atteindre mon objectif/ j'ai atteint mon objectif sans effort
 - (*Pendant l'usage du produit ...*) ... je me suis senti(e) perdu(e) / j'ai su facilement quoi faire
 - (Utiliser le produit...) ... a nécessité toute mon attention / était fluide
 - (Utiliser le produit...) ... était facile / était difficile
 - (Utiliser le produit...) ... était naturel / était dur
- Questions dimension « instinctif »
 - (*Pendant l'usage du produit ...*) ... j'ai agi délibérément / j'ai agi instinctivement
 - (*Pendant l'usage du produit ...*) ... j'ai agi inconsciemment, sans réfléchir aux étapes / j'ai agi consciemment une étape après l'autre
 - (*Pendant l'usage du produit ...*) ... j'étais guidé(e) par la raison / j'étais guidé(e) par les sentiments
 - (*Pendant l'usage du produit ...*) ...j'ai agi sans réfléchir/ j'étais capable d'expliquer chaque étape

- Questions dimension « expérience magique »
 - (Utiliser le produit...) ... était source d'inspiration/ était insignifiant
 - (Utiliser le produit...) ... n'était rien de spécial / était une expérience magique
 - (Utiliser le produit...) ... était banal / m'a transporté
 - (Utiliser le produit...) ... était fascinant / était ennuyeux
- Questions dimension « verbalisable »
 - (Rétrospectivement...) ... il m'est difficile de décrire chacune des étapes de fonctionnement / je n'ai aucun problème à décrire chacune des étapes de fonctionnement
 - (Rétrospectivement) ... je peux facilement me souvenir des opérations d'utilisation / il m'est difficile de me rappeler comment le produit fonctionne
 - (Rétrospectivement...) ... je ne suis pas capable d'expliquer de quelle manière j'ai utilisé le produit/ je peux dire exactement de quelle manière j'ai utilisé le produit
- Question globale « intuitivité »

Cette question permet d'apprécier globalement l'intuitivité du produit.

- (Utiliser le produit...) ... était très intuitif / n'était pas du tout intuitif

Le questionnaire est divisé en trois sections : 1) pendant l'usage du produit, 2) l'usage du produit, et 3) en rétrospective.

6.2.4. Intuitivité et conception universelle

Comme nous l'indiquions en préambule, l'intuitivité est le troisième principe de la conception universelle. Ce principe stipule que les produits doivent être faciles à comprendre, quels que soient l'expérience, les compétences et le niveau de concentration des utilisateurs. Les recommandations sont : éliminer toute complexité inutile, être en adéquation avec les attentes et intuitions des utilisateurs, considérer un vaste éventail de capacités de lecture, d'écriture et de capacités linguistiques, organiser l'information en ordre d'importance et fournir des commentaires et un feedback pendant et après la tâche. Ces recommandations sont généralistes et proches des heuristiques de Nielsen et de celles de Bastien et Scapin, elles ne sont pas spécifiques à la notion d'intuitivité, effectivement nous retrouvons les aspects de simplicité d'usage, d'absence de surcharge informationnelle et la nécessité de fournir des feedbacks. Nous relevons, néanmoins, que le terme *intuition* est employé dans la deuxième recommandation, en effet, le produit doit être « en adéquation avec les attentes et *intuitions* des utilisateurs » ; nous retrouvons ici le paradoxe entre inné et acquis.

Pour illustrer le principe (Figure 80), les auteurs des principes de conception universelle (Connel et al.,1997) ont choisi de représenter une situation d'urgence, en effet, nous voyons en arrière-plan un homme à terre suite à la chute d'un arbre, avec une personne agenouillée à ses côtés qui appelle à l'aide. En premier plan il y a une petite fille qui est en train d'appeler

les secours grâce à un dispositif suffisamment « intuitif » pour qu'elle comprenne, seule, son fonctionnement.

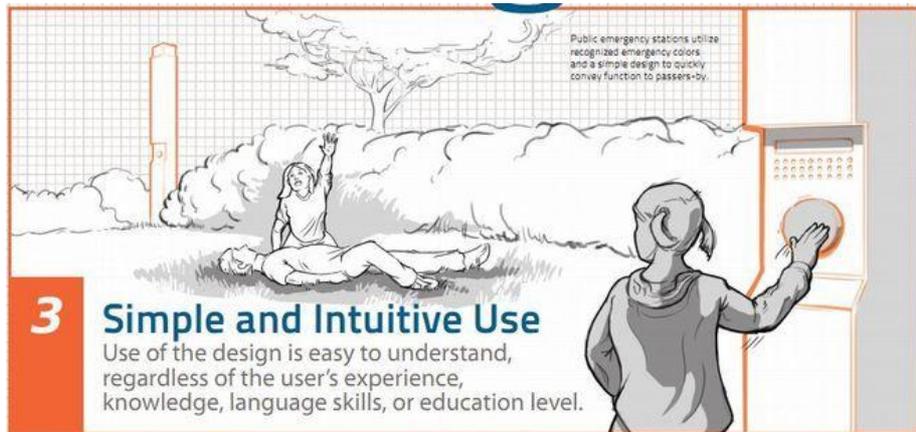


Figure 80 : image illustrative du principe d'usage intuitif (source: <https://www.pinterest.fr/pin/336573772124306458/>).

Cette illustration sous-entend que le produit est si simple et intuitif que même un enfant, sans l'aide d'un adulte, est capable de l'utiliser.

6.2.5. En conclusion

En conclusion de ce chapitre, malgré les contradictions observées dans la littérature concernant la définition d'une interaction intuitive, il reste essentiel de mesurer cette dimension lorsque nous souhaitons concevoir des produits universels. C'est pourquoi nous avons utilisé le questionnaire *INTUI* (Ullrich et Diefenbach, 2010) et au regard des limites observées, nous souhaitons proposer une version accessible aux enfants mais également aux adultes, et qui permette d'évaluer l'intuitivité de tout type de produit.

6.3. Pré-étude

Cette pré-étude a été conduite afin de répondre à notre hypothèse H2 « un produit conçu pour les utilisateurs extraordinaires est une innovation pour tous ».

Pour cela, nous avons conduit une étude dans laquelle nous souhaitons mesurer l'intuitivité d'un plan 3D multisensoriel (Figure 81) conçu pour les personnes déficientes visuelles auprès d'enfants ; pour ce faire nous avons utilisé le plan d'orientation du pavillon L9 de la Villette. Le dispositif comprend des feedbacks sonores (vocalisation des itinéraires et informations pratiques et historiques via des boutons audio), visuels (affichage dynamique) et tactiles (éléments en 3D et braille) et est également accessible aux personnes en fauteuil roulant (élévation du pupitre).



Figure 81 : plan d'orientation du Pavillon L9

Six enfants âgés de 6 à 11 ans ont participé à cette étude, ils devaient réaliser deux parcours (simple et complexe). Pour cela, l'expérimentateur leur demandait de se rendre à un point B et d'identifier l'itinéraire à partir du plan d'orientation.

Trois conditions expérimentales étaient envisagées :

- condition 2D : nous avons conçu un plan 2D de la Villette comprenant les mêmes informations visuelles que le plan d'orientation multisensoriel ;
- condition 3D statique : les participants utilisaient les informations visuelles et tactiles ;
- condition 3D dynamique : les participants utilisaient les informations visuelles, tactiles et audio.

Pour mesurer les bénéfices de ce plan auprès des enfants nous avons plusieurs VD:

- scores de performance (temps pour effectuer le parcours, nombre d'arrêts et leur durée, erreurs commises pendant le trajet),
- scores au questionnaire « INTUI » (Ullrich et Diefenbach, 2010) appliqué à l'évaluation des 3 plans d'orientation.

Suite à cette étude pilote, nous avons identifié plusieurs limites au questionnaire *INTUI* :

- le questionnaire était trop long pour des enfants ;
- le vocabulaire était trop complexe à comprendre, nous devions trouver des synonymes et / ou expliquer le sens des mots / phrases ;
- les enfants étaient gênés par les redondances comme par exemple « utiliser le dispositif était dur ; utiliser le dispositif était difficile » avec des retours du type « tu me l'as déjà demandé » ;

- le questionnaire n'est pas adapté aux produits non numériques, en particulier les items de la dimension « verbalisable » qui suggèrent l'existence d'une procédure de fonctionnement interne au produit, comme par exemple « il m'est difficile de décrire chacune des étapes de fonctionnement ».

Lors de la pré-étude de l'expérimentation 1 (plan d'orientation du Musée de l'Homme), nous avons également utilisé le questionnaire *INTUI* avec les adultes, et ces derniers nous avaient faits des retours concordants : items inappropriés pour les produits non numériques, et formulation trop complexe des items de la dimension verbalisable.

Ces limites nous ont poussés à concevoir une version de ce questionnaire adaptée aux enfants, et adaptée aux produits non numériques, afin de pouvoir l'employer dans la méthode de l'utilisateur extraordinaire.

6.4. Etude

6.4.1. Reconception du questionnaire INTUI

La conception de la nouvelle version du questionnaire porte sur deux aspects :

- Les items

Afin de réduire la durée de passation et d'éviter les redondances, nous avons commencé par sélectionner les items en veillant à conserver un ou deux items pour chacune des dimensions conceptuelles du modèle. Nous avons ensuite collaboré avec une experte (enseignante en primaire) pour reformuler les items sélectionnés et les adapter à la compréhension langagière des enfants de 6 ans.

- Les échelles

Nous avons également retravaillé les échelles de réponse. En effet les échelles de type Likert en 7 points ne sont pas appropriées pour les enfants de 6 ans car elles supposent une capacité de finesse dans leur auto-jugement. Toutefois, van Laerhoven, van der Zaag-Loonen et Derkx (2004), ont validé l'usage d'échelles en 5 points lorsque chaque point de l'échelle est accompagné d'un label.

Notre questionnaire est composé des items suivants :

NB : Les éléments entre crochets ([...]) sont à instancier en fonction du contexte et de la tâche demandée aux participants. Les items employant le tutoiement sont destinés aux enfants ; pour les adultes, nous utilisons le vouvoiement.

Dimension « sans effort »

1. Pour [...] :

- Tu ne savais pas du tout quoi faire

- Tu ne savais pas quoi faire
- Entre les deux
- Tu savais quoi faire
- Tu savais très bien quoi faire

2. Faire [...] c'était :

- Pas du tout facile
- Pas facile
- Entre les deux
- Facile
- Très facile

Dimension « instinctif »

3. Pour faire [...] :

- Tu n'as pas du tout réfléchi
- Tu n'as pas réfléchi
- Entre les deux
- Tu as réfléchi
- Tu as beaucoup réfléchi

Dimension « expérience magique »

4. Faire [...] c'était :

- Très Banal
- Banal
- Entre les deux
- Bien
- Magique

5. Faire [...] c'était :

- Pas du tout amusant
- Pas amusant
- Entre les deux
- Amusant
- Très amusant

Dimension « verbalisable »

6. Peux-tu me dire ce que tu as fait pour faire [...] ?

Question ouverte.

7. Imagine, si je te demande d'expliquer à un copain comment tu as fait pour qu'il refasse [...] ? Tu serais :

- Pas du tout capable
- Pas capable
- Entre les deux
- Capable
- Très capable

Dimension « intuitivité »

Cet item est une dimension clef du questionnaire, même si le terme « intuitif » est complexe à comprendre nous avons choisi de le garder et en cas d'incompréhension, nous expliquerions aux enfants que cela signifie « naturel ».

8. Faire [...] c'était :

- Pas du tout intuitif
- Pas intuitif
- Entre les deux
- Intuitif
- Très intuitif

6.4.2. Méthodologie

L'objectif de cette expérimentation est de concevoir et valider une nouvelle version du questionnaire *INTUI* compréhensible par les enfants et par les adultes.

La conception de cet outil s'inscrit elle-même dans notre modèle de l'utilisateur extraordinaire, en répondant aux besoins prioritaires des enfants. Par la suite, la validation auprès d'adultes nous permettra de vérifier l'universalité du questionnaire. En particulier, pour que le questionnaire soit efficace et efficient avec les adultes il est essentiel qu'il ne soit pas perçu comme trop enfantin.

6.4.2.1. Méthode groupe Enfants

6.4.2.1.1. Participants

Au total, 40 enfants de langue française ont pris part à cette expérimentation. Notre critère d'inclusion était l'âge des enfants, nous souhaitons un panel âgé de 6 à 10 ans afin de mesurer la compréhensibilité de nos questions et de déterminer si la durée de passation de notre questionnaire était acceptable. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de notre échantillon (Tableau 18).

Tableau 18 : caractéristiques de l'échantillon du groupe Enfants.

	Enfants
Age moyen	7, 5 ans $\sigma = 1,43$ min = 4 ans, max = 10 ans
Genre	30 filles et 10 garçons
Classe	CP = 14 participants CE1 = 9 participants CE2 = 6 participants CM1 = 7 participants CM2 = 4 participants
Déficiences visuelle	15 participants (déficiences non précisées)
Déficiences auditive	non
Déficiences motrice	non
Déficiences cognitive	non
Troubles « dys »	non
Main dominante	Droite = 35 participants Gauche = 4 participants Ambidextre = 1 participant

6.4.2.1.2. Matériel expérimental

Afin d'éprouver l'efficacité du questionnaire lors de l'usage d'un produit non numérique et numérique, nous avons choisi une tâche ludique et adaptée à la variabilité des compétences selon l'âge ; nous leur avons demandé de réaliser un dessin sur papier à l'aide de feutres (tâche 1) et sur tablette tactile (tâche 2) (Figure 81).



Figure 81 : à gauche : tâche 1 : papier, à droite : tâche 2 : tablette tactile.

Pour la tâche 2, nous avons sélectionné l'application « dessine-moi » pour sa simplicité d'utilisation.

Les enfants devaient réaliser le dessin à partir d'un modèle que nous avons créé. Nous avons choisi des formes géométriques avec différentes couleurs et épaisseurs de traits (Figure 82).

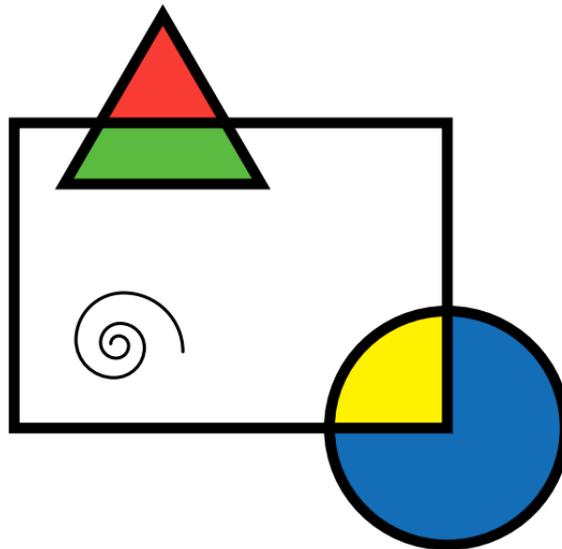


Figure 82 : modèle de dessin.

6.4.2.1.3. Conditions expérimentales

Cette étude comprend deux conditions expérimentales (Tableau 19). La tâche 1 correspond à la réalisation du dessin sur la feuille et la tâche 2 sur la tablette tactile.

Tableau 19 : conditions expérimentales groupe Enfants.

Conditions	Enfants
Condition 1 = tâche 1 puis tâche 2	n = 20
Condition 2 = tâche 2 puis tâche 1	n = 20

Chaque participant effectue les deux tâches, nous avons contrebalancé l'ordre entre les deux conditions.

6.4.2.1.4. Procédure

Pour les deux conditions, la procédure est identique (Figure 83).

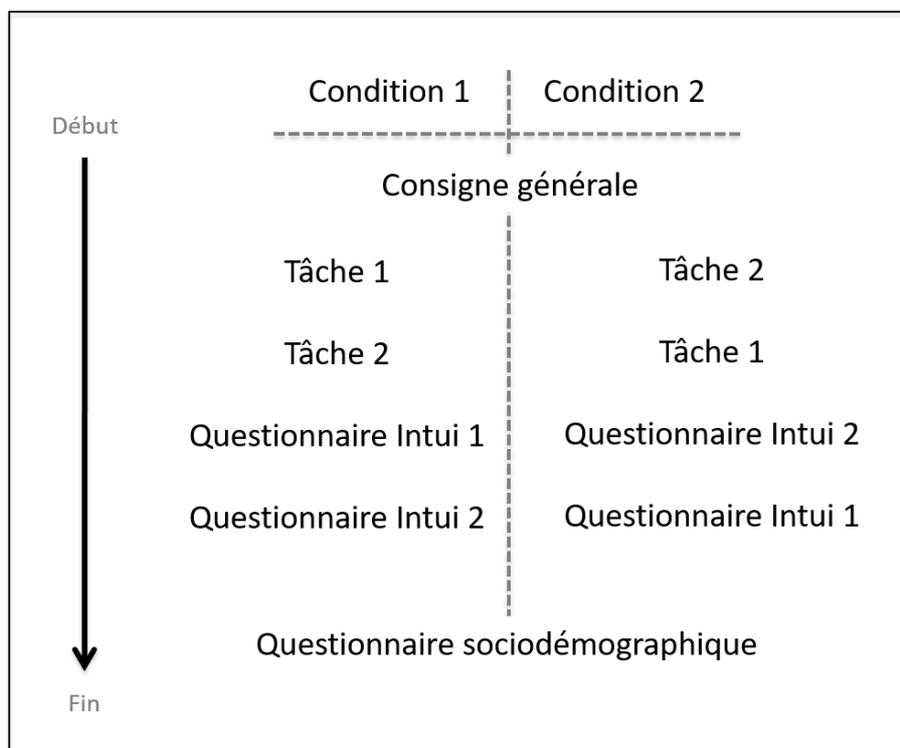


Figure 83 : procédure de l'expérimentation.

Chaque passation durait environ 10 minutes et comprenait cinq étapes.

Etape 1 : consigne générale

L'expérimentatrice débutait la passation en expliquant aux participants son déroulement.

La consigne était la suivante : « *Je vais te demander de faire deux dessins, une fois sur feuille avec des feutres et une fois sur la tablette tactile [l'expérimentatrice montrait ladite tablette tactile]. Ensuite, je te poserai des questions* ».

Etape 2 : dessins

Les enfants reproduisaient les dessins dans un ordre contrebalancé.

Etape 3 : questionnaire INTUI simplifié

L'expérimentatrice posait les questions aux enfants et notait leurs réponses. Les questionnaires étaient remplis suivant l'ordre de présentation dans lequel se trouvaient les participants.

Etape 4 : complétion questionnaire sociodémographique

Comme pour la complétion des questionnaires INTUI, le questionnaire sociodémographique était rempli par l'expérimentatrice.

Le questionnaire comprenait les informations sociodémographiques nécessaires à la description de l'échantillon, à savoir : âge, genre, classe, la présence ou non d'une déficience (visuelle, auditive, motrice, cognitive et « dys ») et la main dominante (droite, gauche, ambidextre).

6.4.2.2. Résultats groupe Enfants

6.4.2.2.1. Analyse des données

Dans un premier temps, nous avons effectué un test de corrélation de Pearson afin de déterminer les corrélations intra- et inter-dimensions (instinctif, sans effort, magique, verbalisable et intuitif) (Tableau 20).

Tableau 20 : récapitulatif des items du questionnaire par dimension.

Items	Dimensions	Sens
Q1 (sans réfléchir)	Instinctif	inversé
Q2 (savoir quoi faire)	Sans effort	
Q3 (facile)	Sans effort	
Q4 (magique)	Magique	
Q5 (amusant)	Magique	
Q7 (incapable d'expliquer)	Verbalisable	inversé
Q8 (intuitif)	Tout	

Nos hypothèses sont :

- les items « savoir quoi faire » (Q2) et « facile » (Q3) sont corrélés car issus de la même dimension ;
- les items « magique » (Q4) et (Q5) sont corrélés car issus de la même dimension ;
- l'item « intuitif » (Q8) peut être prédit à partir des 4 dimensions (instinctif, sans effort, magique et verbalisable).

Dans un deuxième temps nous avons effectué deux ANOVA pour déterminer :

- l'effet de la variable indépendante « produit » sur la variable dépendante « score au questionnaire INTUI » ;
- l'effet de la variable contrôle « ordre de présentation ».

6.4.2.2.2. Résultats

Observations

L'accueil du questionnaire chez les enfants était positif :

- compréhension de l'échelle en 5 points labélisés ;
- aucune redondance n'a été mise en exergue ;
- bonne longueur du questionnaire : les enfants n'ont montré aucun signe d'impatience ;
- Incompréhension de deux mots :
 - le mot « banal » dans la question 4 ;
 - le mot « intuitif » dans la question 8.

En outre, tous les enfants possédaient une tablette à leur domicile

Analyses statistiques

Corrélation de Pearson

Notre hypothèse selon laquelle les items Q2 et Q3 sont corrélés n'est pas vérifiée ($\alpha = 0.434$, $r = 0.277$, $p = 0.013$).

Notre hypothèse selon laquelle les items Q2 et Q3 sont corrélés n'est également pas vérifiée ($\alpha = 0.492$, $r = 0.326$, $p = 0.003$).

Notre hypothèse selon laquelle l'item Q8 peut être prédit par les 4 dimensions (instinctif, sans effort, magique et verbalisable) est partiellement vérifiée. Les variables prédictives sont :

- L'item « savoir quoi faire » (Q3) ($\beta = 0.25$, $t = 2.41$, $p = 0.018$)
- L'item « incapable d'expliquer » (Q7) ($\beta = -0.314$, $t = -2.998$, $p = 0.004$)
- $R^2 = 0.386$

La matrice des corrélations (Figure 84) montre que :

- l'item « sans réfléchir » (Q1) n'est corrélé à aucun autre item ; nous supposons que cette question n'a pas été comprise par les enfants ;
- l'item « savoir quoi faire » (Q2) est positivement corrélé à l'item « amusant » Q5 ($r = 0.42$, $p < 0.001$), cela signifie que plus les enfants savent quoi faire plus la tâche est amusante ;

- l'item « facile » (Q3) est positivement corrélé à l'item « intuitif » (Q8) ($r = 0.449$, $p < 0.001$), cela signifie que plus la tâche est facile plus l'interaction est intuitive ;
- Q4 est modérément corrélé à Q2, Q3, Q5, Q7 et Q8 ;
- l'item « incapable d'expliquer » (Q7) est négativement corrélé à l'ensemble des items (à l'exception de l'item « sans réfléchir » (Q1)), en particulier à l'item « intuitif » (Q8) ($r = -0.495$, $p < 0.001$), cela signifie que moins l'enfant se sent capable de verbaliser plus les dimensions « sans effort », « magique » et « intuitif » sont élevées.

		Corrélations						
		Q1inv	Q2	Q3	Q4	Q5	Q7inv	Q8
Q1inv	Corrélation de Pearson	1	-,091	,036	-,048	-,017	,179	-,083
	Sig. (bilatérale)		,424	,752	,674	,884	,113	,466
	N	80	80	80	80	80	80	80
Q2	Corrélation de Pearson	-,091	1	,277*	,384**	,420**	-,317**	,398**
	Sig. (bilatérale)	,424		,013	,000	,000	,004	,000
	N	80	80	80	80	80	80	80
Q3	Corrélation de Pearson	,036	,277*	1	,275*	,286*	-,382**	,449**
	Sig. (bilatérale)	,752	,013		,014	,010	,000	,000
	N	80	80	80	80	80	80	80
Q4	Corrélation de Pearson	-,048	,384**	,275*	1	,326**	-,243*	,351**
	Sig. (bilatérale)	,674	,000	,014		,003	,030	,001
	N	80	80	80	80	80	80	80
Q5	Corrélation de Pearson	-,017	,420**	,286*	,326**	1	-,250*	,225*
	Sig. (bilatérale)	,884	,000	,010	,003		,025	,045
	N	80	80	80	80	80	80	80
Q7inv	Corrélation de Pearson	,179	-,317**	-,382**	-,243*	-,250*	1	-,495**
	Sig. (bilatérale)	,113	,004	,000	,030	,025		,000
	N	80	80	80	80	80	80	80
Q8	Corrélation de Pearson	-,083	,398**	,449**	,351**	,225*	-,495**	1
	Sig. (bilatérale)	,466	,000	,000	,001	,045	,000	
	N	80	80	80	80	80	80	80

*. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

**.. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Figure 84 : matrice de corrélation du groupe Enfants.

Effet des variables

Nous n'observons aucun effet significatif de la variable indépendante « produit » (Papier-Crayon vs. Tablette) sur l'ensemble des items, en particulier pour la question 8 « intuitif » ($F(1, 76) = 0.013$, $p = 0.911$).

Nous observons un effet significatif de la variable contrôle « ordre de passation » sur la question 5 « amusant » ($F(1, 76) = 4.371$, $p = 0.04$) montrant que la réalisation du dessin a été jugée comme significativement moins amusante la seconde fois ($M = 4.15$, $SD = 0.86$) que la première fois ($M = 4.5$, $SD = 0.60$) (Figure 85).

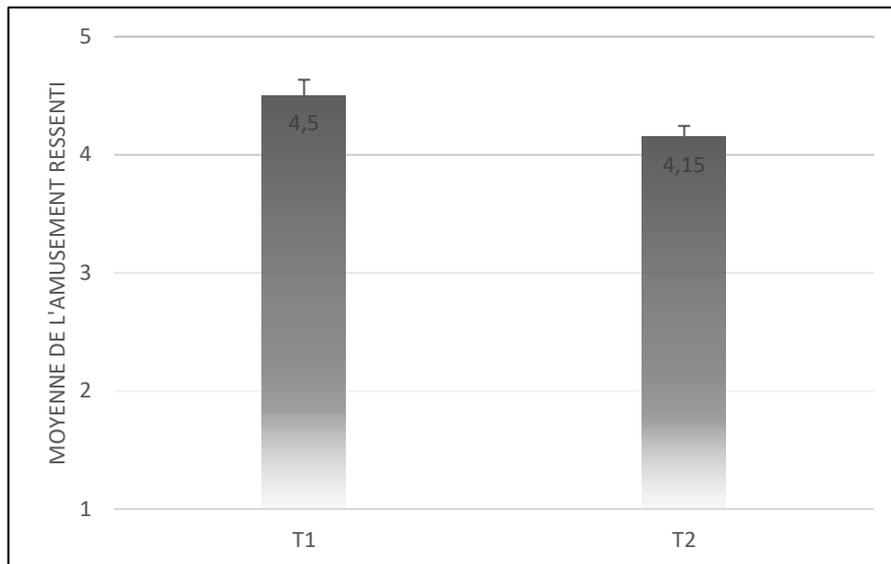


Figure 85 : effet de l'ordre de passation sur l'item « amusant » (Q8).

Analyse question ouverte dimension « verbalisable »

Dans les deux conditions, les enfants ont su décrire les différentes sous-tâches qu'ils ont effectuées pour dessiner. Les réponses étaient descriptives, ils les listaient une à une, en précisant à chaque fois la forme et la couleur utilisée ; ex : « j'ai commencé par faire le grand rectangle avec le feutre noir ».

6.4.2.3. Discussion groupe Enfants

Validité du questionnaire

Nous n'avons pas vérifié nos hypothèses de corrélation pour les items de la dimension « sans effort » d'une part, et, de la dimension « magique » d'autre part. Nous ne retrouvons donc pas la structure du modèle INTUI. En outre, l'item d'intuitivité global est uniquement prédit par les items « facile » et « incapable d'expliquer » (item inversé), cela signifie que la tâche est intuitive si elle est facile et verbalisable.

Concernant les scores à l'échelle INTUI pour la dimension « verbalisable », nos résultats ne corroborent pas la théorie, en effet, selon la théorie plus une personne se sent capable de verbaliser les différentes étapes de sa tâche moins le produit est intuitif car, comme nous l'avons vu, l'une des propriétés d'une interaction intuitive est la réalisation non-consciente d'une tâche. Dans notre étude, plus les enfants se sentent en capacité de verbaliser la tâche plus ils la jugent intuitive. Lors de la passation de l'expérimentation, l'expérimentatrice a observé que lorsqu'elle leur posait la question : « Imagine, si je te demande d'expliquer à un copain comment tu as fait pour qu'il refasse la même tâche ? Tu serais... », les enfants étaient fiers et satisfaits de répondre qu'ils seraient « *très capables parce que c'est facile* ».

L'item « sans réfléchir » (Q1) n'étant corrélé avec aucun autre item, nous supposons qu'il n'a pas été compris par les enfants. Nous suggérons donc de l'enlever de ce questionnaire.

Effets de la variable indépendante « produits »

La variable indépendante « produits » n'a eu aucun effet sur l'ensemble des items. Nous pouvons expliquer ce résultat par la tâche de dessin qui leur était demandée, en effet, il s'agissait d'une activité ludique, les enfants s'appliquaient à faire de beaux dessins. La tâche en elle-même est plaisante, ils n'ont pas fait de distinction entre le support et l'activité, ce qui a prévalu était le fait de dessiner. La prise en main de l'application « dessine-moi » était aisée pour tous les enfants, aucun n'a été rebuté. La plupart d'entre eux avaient déjà utilisé une tablette pour dessiner et ont donc transféré les connaissances acquises antérieurement, et ceux pour lesquels c'était la première utilisation, l'expérimentatrice leur montrait le fonctionnement et ils l'utilisaient ensuite sans erreurs.

Ce résultat est particulièrement intéressant, car dans la condition « tablette », les enfants commettaient plus d'erreurs et avaient tendance à recommencer leurs dessins plus de fois que dans la condition papier dans laquelle aucun d'entre eux n'a recommencé son dessin. Nous expliquons cela par la facilité de gommage sur l'application. En effet, sur l'application, il est possible d'effacer une partie ou tout entièrement en quelques secondes contrairement au papier, et, de surcroît, cette tâche d'effacement était même ludique et amusait les enfants.

Même si nous n'avons pas observé d'effet de la variable « produits », ce questionnaire n'en demeure pas moins pertinent pour l'évaluation d'un produit numérique étant donné que l'absence d'effet n'est pas liée au produit mais à l'aspect ludique de l'activité. En outre, pendant la passation, aucun retour n'a été fait par les enfants pour souligner une incompréhension ou une inadaptation de questionnaire.

Effet de l'ordre

La variable contrôle « ordre de passation » a eu un effet sur l'item « amusant » ce qui signifie qu'ils ont trouvé la tâche moins amusante la seconde fois. Ce résultat nous semble légitime, en effet, demander à un enfant de faire deux fois la même tâche l'une à la suite de l'autre peut être rébarbatif. Ce résultat souligne l'efficacité du questionnaire, et le fait qu'il soit adapté à des enfants.

6.4.2.4. Méthode groupe Adultes

6.4.2.4.1. Participants

Au total, 28 adultes de langue française ont pris part à cette expérimentation. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de notre échantillon (Tableau 21).

Tableau 21 : caractéristiques de l'échantillon du groupe Adultes.

	Adultes
Age moyen	24 ans $\sigma = 2,09$ min = 21 ans, max = 29 ans
Genre	28 hommes

Répartition diplôme	28 participants en Formation Ingénieurs Alternance (FIA)
Répartition CSP	Etudiant= 28 participants
Déficience visuelle	7 participants
Déficience auditive	non
Déficience motrice	non
Déficience cognitive	non
Troubles « dys »	non
Main dominante	Droite = 25 participants Gauche = 2 participants Ambidextre = 1 participants

6.4.2.4.2. Matériel expérimental

Nous avons demandé au groupe adulte d'effectuer deux soustractions ($3625-167=$; $286-197=$) sur papier et sur la calculatrice de leurs Smartphones. Dans la condition Papier-crayon, les participants devaient poser les soustractions sur la feuille. Les deux soustractions étaient écrites sur un tableau blanc.

6.4.2.4.3. Conditions expérimentales

Cette étude comprend deux conditions expérimentales (Tableau 22). La tâche 1 correspond à la réalisation de la soustraction sur Smartphone et la tâche 2 à celle sur feuille.

Tableau 22 : conditions expérimentales groupe Adultes.

Conditions	Adultes
Condition 1 = tâche 1 puis tâche 2	n = 15
Condition 2 = tâche 2 puis tâche 1	n = 13

Chaque participant effectue les deux tâches, nous avons contrebalancé l'ordre entre les deux conditions.

6.4.2.4.4. Procédure

La procédure était identique à celle utilisée avec les enfants (Figure 86).

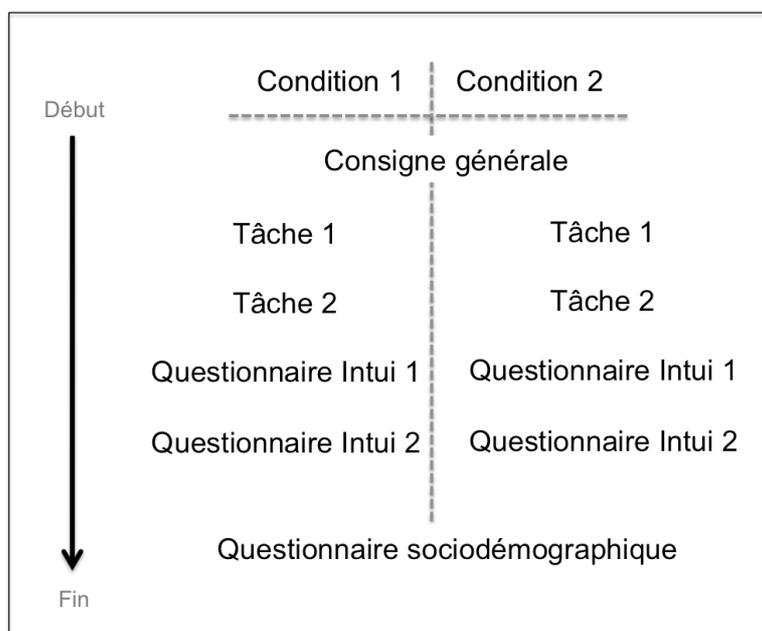


Figure 86 : procédure de l'expérimentation.

Chaque passation durait environ 10 minutes et comprenait cinq étapes.

Etape 1 : consigne générale

L'expérimentatrice débutait la passation en expliquant aux participants son déroulement.

La consigne était la suivante : « *Je vais vous demander d'effectuer ces deux soustractions deux fois, une fois sur une feuille et une fois sur vos Smartphones. Ensuite, vous complétez deux questionnaires* ».

Etape 2 : soustractions /dessins

Etape 3 : questionnaire INTUI simplifié

Les deux questionnaires étaient auto-administrés. Les questionnaires étaient remplis suivant l'ordre de présentation dans lequel se trouvaient les participants.

Etape 4 : complétion questionnaire sociodémographique

Comme pour la complétion des questionnaires INTUI simplifiés, le questionnaire sociodémographique était auto-administré pour les adultes.

Le questionnaire comprenait les informations sociodémographiques nécessaires à la description de l'échantillon, à savoir : âge, genre, niveau d'étude, catégorie socioprofessionnelle, la présence ou non d'une déficience (visuelle, auditive, motrice, cognitive et « dys ») et la main dominante (droite, gauche, ambidextre).

6.4.2.5. Résultats groupe Adultes

Observations

Les adultes n'ont fait aucun retour concernant le questionnaire et l'expérimentatrice n'a pas observé de faits marquants.

Analyses statistiques

Corrélation de Pearson

Notre hypothèse selon laquelle les items « savoir quoi faire » (Q2) et « facile » (Q3) sont corrélés est vérifiée, $\alpha = 0.773$, $r = 0.651$, $p < 0.001$.

Notre hypothèse selon laquelle les items « magique » (Q4) et « amusant » (Q5) sont corrélés est vérifiée, $\alpha = 0.692$, $r = 0.532$, $p < 0.001$.

Notre hypothèse selon laquelle l'item « intuitif » (Q8) peut être prédite par les 4 dimensions (instinctif, sans effort, magique et verbalisable) est partiellement vérifiée. La variable prédictive est :

- La dimension Magique (Q4 et Q5 agrégées) : $\beta = 0.329$, $t = 2.555$, $p = 0.014$
- $R^2 = 0.192$

La matrice des corrélations (Figure 87) montre que :

- L'item « sans réfléchir » (Q1) est positivement corrélé à la dimension « sans effort (Q2 et Q3) ($r = 0,71$, $p < 0,001$), cela signifie que plus ils agissent instinctivement moins l'effort requis est important. Par contre, cet item est négativement corrélé à l'item « incapable d'expliquer » (Q7) ($r = -0,43$, $p = 0,001$), cela signifie que plus la dimension instinctive est élevée plus le sentiment de capacité à verbaliser augmente.
- La dimension « sans effort » (Q2 et Q3) est négativement corrélée à l'item « incapable d'expliquer » ($r = -0,49$, $p < 0,001$), cela signifie que plus la dimension « sans effort » est élevée plus le sentiment de capacité à verbaliser augmente.
- La dimension « magique » (Q4 et Q5) est faiblement corrélée à l'item « intuitif » (Q8) ($r = 0,27$, $p = 0,049$), cela signifie que plus la dimension magique est élevée plus l'intuitivité augmente.
- L'item « incapable d'expliquer » (Q7) est corrélé négativement aux items « instinctif » ($r = -0,43$, $p < 0,001$) « sans effort » ($r = -0,49$, $p < 0,001$) et « intuitif » ($r = -0,27$, $p = 0,042$), cela signifie que plus les participants se sentent capables de verbaliser plus les dimensions « instinctif », « sans effort » et « intuitif » augmentent.

Corrélations						
		Q1inv	Q23	Q45	Q7inv	Q8
Q1inv	Corrélation de Pearson	1	,713**	-,209	-,434**	,175
	Sig. (bilatérale)		,000	,123	,001	,196
	N	56	56	56	56	56
Q23	Corrélation de Pearson	,713**	1	-,165	-,487**	,237
	Sig. (bilatérale)	,000		,223	,000	,078
	N	56	56	56	56	56
Q45	Corrélation de Pearson	-,209	-,165	1	,140	,264*
	Sig. (bilatérale)	,123	,223		,304	,049
	N	56	56	56	56	56
Q7inv	Corrélation de Pearson	-,434**	-,487**	,140	1	-,273*
	Sig. (bilatérale)	,001	,000	,304		,042
	N	56	56	56	56	56
Q8	Corrélation de Pearson	,175	,237	,264*	-,273*	1
	Sig. (bilatérale)	,196	,078	,049	,042	
	N	56	56	56	56	56

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).
* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Figure 87 : matrice de corrélation du groupe Adultes.

Effet des variables

Nous observons un effet significatif de la variable indépendante « produit » (Papier-Crayon vs. Smartphone) sur :

- la question 1 « sans réfléchir » ($F(1, 52) = 48.18, p < 0.001$) montrant que les participants ont moins réfléchi dans la condition Smartphone ($M= 1,29, SD=0,71$) que celle Papier-crayon ($M=,3,11 SD=1,17$) (Figure 88) ;

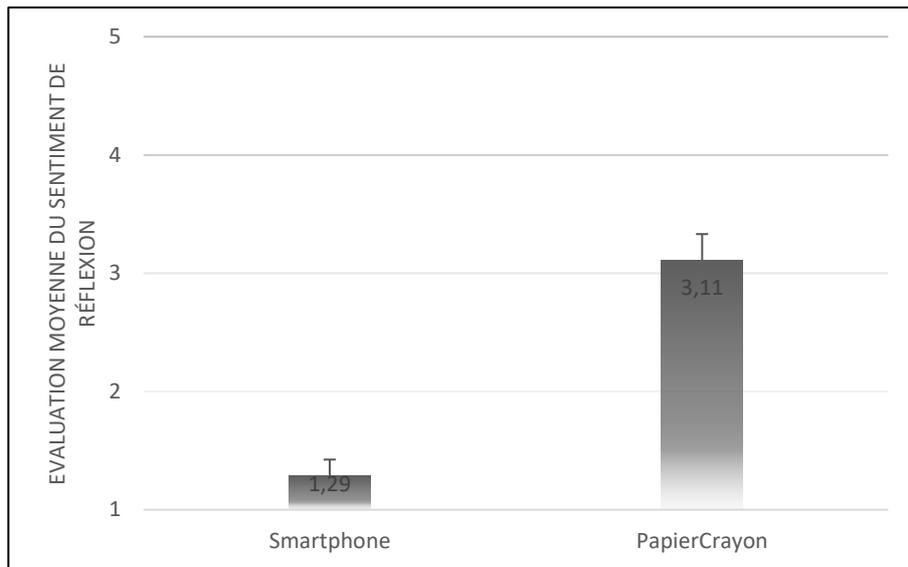


Figure 88 : évaluation moyenne du groupe adulte du sentiment de réflexion (Q1).

- la dimension *sans effort* (items « savoir quoi faire » et « facile ») montre que la condition Smartphone a nécessité moins d'effort ($M = 4.95$, $SD = 0.21$) que la condition Papier-crayon ($M = 4.32$, $SD = 0.72$, $F(1, 52) = 19.42$, $p < 0.001$) (Figure 89) ;

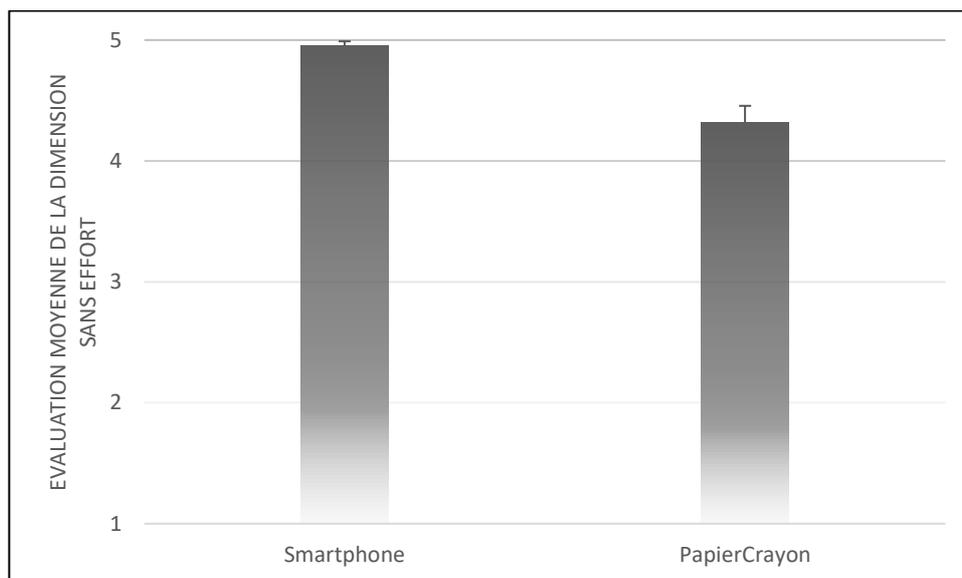


Figure 89 : évaluation moyenne du groupe adultes de la dimension sans effort (Q2 et Q3).

- la question 7 « incapable d'expliquer » ($F(1, 52) = 11.63$, $p = 0.001$) montrant que les participants étaient plus capables d'expliquer dans la condition Smartphone ($M = 4,93$, $SD = 0,26$) que Papier-crayon ($M = 4,39$, $SD = 0,79$) (Figure 90) ;

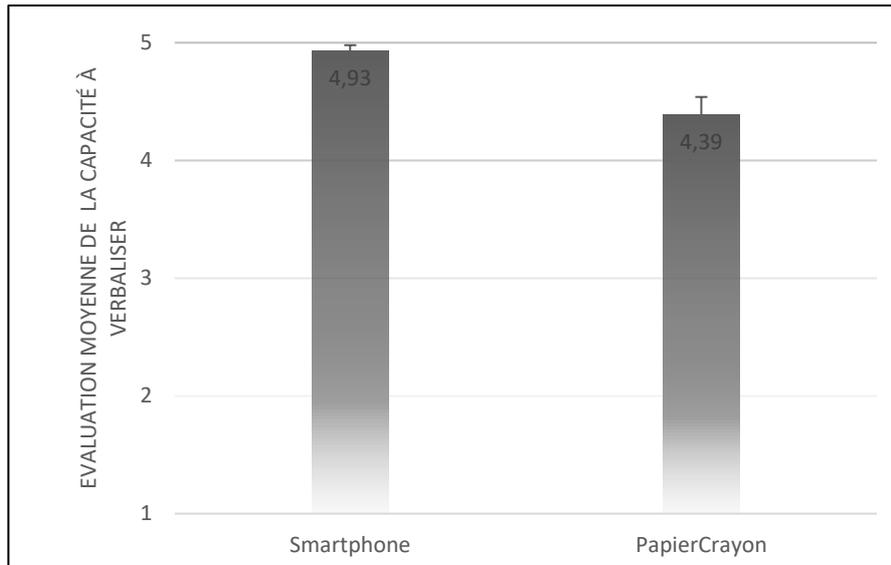


Figure 90 : évaluation moyenne du groupe adultes de la capacité à verbaliser (Q7).

Nous observons un effet marginal sur :

- la dimensions magique (items « magique » et « amusant ») ($F(1, 52) = 3.61, p = 0.063$) montrant que les participants ont trouvé que la condition Papier-crayon était plus magique ($M=2,8, SD=0,98$) que la condition Smartphone ($M=2,3, SD=0,99$) et (Figures 91) ;

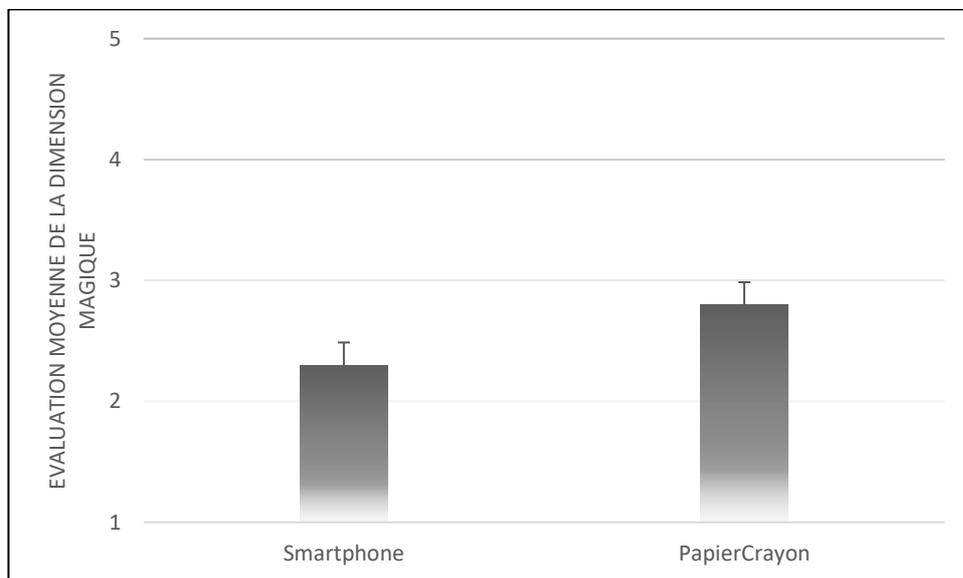


Figure 91 : évaluation moyenne du groupe adultes de la dimension magique (Q4 et Q5).

- la dimension « intuitif » ($F(1, 52) = 3.31, p = 0.074$) montrant que les participants ont trouvé la réalisation de la tâche plus intuitive en condition Smartphone ($M=3,93, SD=1,30$) que Papier-crayon ($M=3,29, SD=1,24$) (Figure 92).

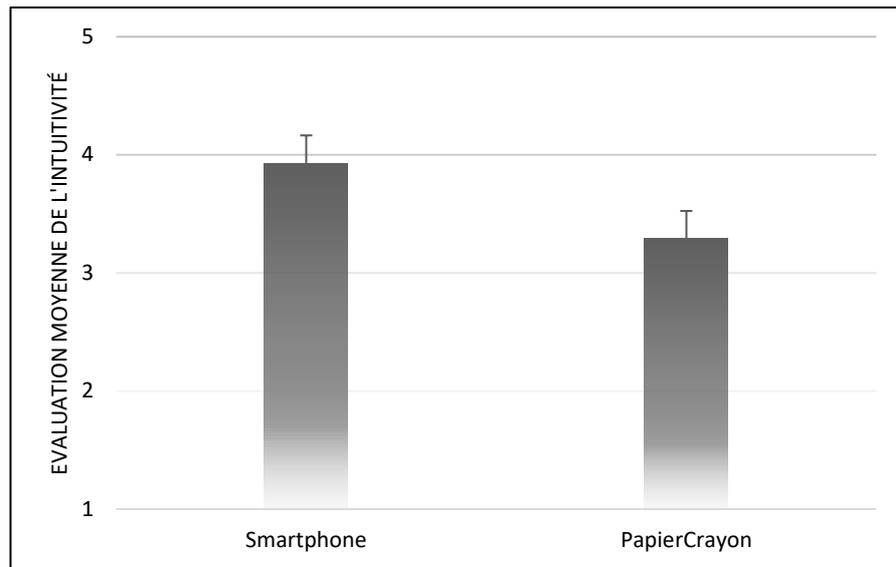


Figure 92 : évaluation moyenne du groupe adultes de l'intuitivité (Q8).

Nous n'observons pas d'effet significatif de la variable contrôle « ordre de passation » sur les items.

Analyse question ouverte dimension « verbalisable »

Les adultes ont également su décrire les sous-tâches effectuées pour réaliser les soustractions, ce, dans la condition Smartphone et Papier - Crayon.

6.4.2.6. Discussion groupe Adultes

Validité du questionnaire

Nous avons vérifié nos hypothèses de corrélations pour les items des dimensions « sans effort » et « magique ». L'item d'intuitivité global est prédit par la dimension « magique » mais la variance expliquée reste faible (19%).

Un résultat étonnant est que la condition Papier-crayon ait été évaluée plus « magique » que la condition avec Smartphone. Une explication potentielle est qu'ils ont été amusés par la tâche de poser une soustraction sur une feuille. En effet, cela est probablement une tâche qu'ils n'ont pas effectuée depuis de nombreuses années, ils ont été amusés du désarroi qu'ils ont ressenti lors de l'accomplissement de cette tâche. Pour certains c'est comme s'ils retournaient à l'école.

Pour la dimension « verbalisable », nous obtenons le même résultat que pour les enfants, c'est-à-dire que plus les participants se sentent en capacité de verbaliser les actions inhérentes à la tâche plus ils la jugent intuitive.

Effets de la variable indépendante « produits »

La variable indépendante « produits » a eu un effet significatif sur les items « sans réfléchir », la dimension « sans effort », la dimension « verbalisable » et un effet marginal sur la dimension « magique ». Ce résultat n'est pas surprenant, poser une opération sur feuille est plus exigeant cognitivement car cette tâche implique une réflexion, cette réflexion étant d'autant plus importante lorsque les individus ont perdu l'habitude d'effectuer cette tâche. Lorsque l'expérimentatrice leur a demandé d'effectuer une soustraction à la main, des commentaires du type « *je ne sais plus* », « *j'ai oublié* » ou encore « *ce n'est pas facile* » ont été émis, en effet, avec les calechettes scientifiques, cela fait de nombreuses années qu'ils n'ont plus posé d'opérations sur feuille, dès lors, la condition Smartphone était indéniablement plus simple et naturelle.

6.5. Discussion

Dans notre questionnaire, nous ne retrouvons pas la structure factorielle du modèle initial concernant la dimension « verbalisable ». Nous émettons plusieurs hypothèses pour expliquer ce résultat. Cela peut être dû à notre reformulation de l'item qui a pu introduire un biais de désirabilité sociale incitant les participants à répondre dans l'affirmative. Nous avons traduit le questionnaire INTUI de l'anglais qui lui-même avait été traduit de l'allemand. Il se peut que le problème soit d'ordre linguistique voire même culturel concernant la notion de « capacité à verbaliser ».

Notre deuxième hypothèse explicative porte sur la théorie elle-même et le fait qu'une expérience intuitive soit non verbalisable. Pour concevoir leur questionnaire, les auteurs se sont basés sur la littérature relative à l'intuition, or nous avons vu que la définition de l'intuition diffère de celle de l'interaction intuitive. Dès lors, il est probable que la dimension « verbalisable » ne soit pas un indicateur prédictif d'une interaction intuitive.

Enfin, notre troisième hypothèse porte sur les tâches que nous avons demandé de réaliser aux participants. Afin de déterminer si ce n'est pas ces dernières qui ont impacté nos résultats, nous pourrions conduire des études en reprenant les mêmes stimuli que les auteurs (Ullrich et Diefenbach, 2010) ont utilisés pour valider notre questionnaire, à savoir deux lecteurs MP3.

Nous avons donc décidé d'enlever la dimension « verbalisable » mais également « instinctif » qui n'a pas été compris par les enfants et qui ne contribue pas à prédire l'item « intuitif » chez les adultes. Nous gardons les items des dimensions « sans effort » « magique » et d'intuitivité.

La principale limite de cette expérimentation réside dans le fait que nous n'avons pas utilisé notre outil pour les deux premières expérimentations. Dans la pré-étude de l'expérimentation 1, nous avons utilisé le questionnaire INTUI d'Ullrich et Diefenbach (2010) que nous n'avons pas réutilisé dans l'expérimentation finale car la passation était longue et surtout le questionnaire n'était pas approprié à l'évaluation de l'intuitivité de dispositifs non numériques. Mais effectivement, il aurait pu être intéressant d'employer notre outil pour mesurer l'intuitivité du plan du Musée de l'Homme. Nous aurions également pu utiliser ce questionnaire pour éprouver l'intuitivité de la gamme de pictogrammes visuotactiles issue de l'étude 3 de l'expérimentation 2.

Nous comptons utiliser ce questionnaire dans de futures expérimentations et projets afin de nous assurer de sa validité.

La version finale du questionnaire est disponible en Annexe 1.

Partie 3

Apports, conclusions et perspectives

Chapitre 7

Contribution applicative de la thèse

Nous avons rédigé un Livre Blanc pour la société Tactile Studio, ce dernier est destiné aux industriels et professionnels de la signalétique. Nous y proposons un ensemble de recommandations permettant de concevoir un plan d'orientation universel.

Nous débutons ce Livre Blanc par une définition de la conception universelle, qui est souvent citée et prônée par les différents acteurs de la signalétique mais demeure floue à de nombreux égards. Ainsi à travers une courte définition et la présentation synthétique des sept principes, nous souhaitons fournir un cadre aux lecteurs en leur spécifiant quels sont les tenants et aboutissants de cette approche.

Suite à cela, nous présentons les neuf catégories d'utilisateurs susceptibles d'utiliser des plans d'orientation ainsi que leurs besoins lors de l'interaction et les solutions devant être apportées pour les satisfaire.

Ensuite nous établissons les questionnements, préalables à tout projet de conception, qui vont orienter la conception et la fabrication des produits.

Enfin nous développons les recommandations que nous avons classifiées en 10 catégories. Pour chaque catégorie, nous avons une partie « observation » qui correspond à la ligne directrice puis une partie « recommandations ».

La valeur ajoutée du Livre Blanc pour Tactile Studio est de plusieurs ordres :

- **commercial / communication** : valorisation du savoir-faire auprès des clients (approche scientifique et expertise) : utilisation du Livre Blanc, par exemple, lors des rendez-vous clients ;
- **ressources humaines** : capitalisation des connaissances, formation des nouveaux embauchés et transmission du savoir ;
- **communication** : image de marque ;
- **concurrentiel** : image de marque vis à vis des concurrents et plus-value dans les réponses aux Appels d'Offres.

Ce Livre Blanc est présenté ci-après.

Concevoir des plans d'orientation POUR TOUS

Tactile Studio

Droits de reproduction et de diffusion

La reproduction et/ou la diffusion sont autorisées à des fins pédagogiques et professionnelles sous réserve du respect des conditions *Creative Commons* suivantes :

- Citer le document comme suit : « Boisadan, A., Moreau, P, et Buisine, S. (2018). *Livre blanc. Concevoir des plans d'orientation pour tous* » (BY)
- Utilisation non commerciale (NC)
- Respect de l'intégralité de ce document (ND)

Toute représentation, diffusion ou reproduction non autorisée d'une ou plusieurs pages ou illustrations de ce document, par quelque procédure que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par le Code Pénal.

Sommaire

Préface

1/ Présentation des auteurs

2/ Introduction

3/ Conception universelle

4/ Usagers et besoins

5/ Questionnements préalables

6/ Recommandations

6.1. Installation du plan d'orientation dans le bâtiment

6.2. Le mobilier

6.3. Agencement global du plan d'orientation

6.4. Hiérarchisation des informations

6.5. La légende

6.6. Recommandations tactiles

6.7. Recommandations audio

6.8. Recommandations typographiques

6.9. Recommandations visuelles

6.10. Eléments visuotactiles

7/ Recueil des données

8/ Bibliographie

1/ Présentation des auteurs

Andréa Boisadan

Andréa Boisadan est doctorante CIFRE au sein de la société Tactile Studio et est rattachée au Laboratoire Adaptations Travail et Individus (LATI) de l'Université Paris Descartes ainsi qu'au Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires (LINEACT) du CESI. Ses thèmes de recherche sont la conception universelle, l'innovation et la pédagogie.

Contact : aboisadan@cesi.fr

Philippe Moreau, Tactile Studio

Philippe Moreau est le Président de la société Tactile Studio qu'il a fondé en 2009 avec trois autres associés. A ce jour, l'entreprise comprend 15 salariés répartis en France, en Allemagne, en Italie, en Angleterre et au Canada. Elle est spécialisée dans le développement de solutions haptiques innovantes et universelles, accessibles aux déficients visuels, proposées aux grands comptes, aux collectivités, aux institutions muséales et culturelles ou plus largement aux Établissements Recevant du Public (ERP). Son activité repose sur quatre axes :

- Conception graphique, tout support, adaptée aux publics en situation de handicap.
- Fabrication d'objets de médiation et de cartels explicatifs en relief pour les déficients visuels.
- Edition de livrets tactiles.
- Fabrication de plans d'orientation tout public associant le relief, l'image, le son voire le multimédia. La thèse s'inscrit dans cet axe.

Contact: tactilestudio@gmail.com ; Site web: www.tactilestudio.fr

Stéphanie Buisine, CESI, LINEACT

Stéphanie Buisine est professeur à l'école d'ingénieurs du Cesi et est co-responsable du thème « Apprendre et Innover » du LINEACT. Ses thèmes de recherche sont l'innovation, la prospective, la créativité, les organisations innovantes et le management.

Contact : sbuisine@cesi.fr



2/ Introduction

Ce Livre Blanc est issu de nos travaux de recherche. Notre objectif est de proposer un ensemble de recommandations portant sur la conception de plans d'orientation universels.

Nous le mettons à disposition de tous les professionnels de la culture et de la signalétique souhaitant proposer des plans d'orientation dans les Etablissements Recevant du Public (ERP) qui soient accessibles à tous.

Il s'inscrit dans la lignée de la loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, et plus largement dans le courant de la conception universelle.

Quatre chapitres le composent. Dans le chapitre 1, nous définissons succinctement ce qu'est la conception universelle. Dans le chapitre 2, nous expliquons quels sont les besoins des publics en fonction de leurs capacités motrices, cognitives et sensorielles. Dans le chapitre 3, nous proposons un ensemble de recommandations permettant de concevoir des plans d'orientation universels. Dans le chapitre 4, nous présentons la manière dont nous avons recueilli les données qui ont abouti à ces recommandations.

3/ Conception universelle

Initialement issue du mouvement porté par Ron Mace dans le domaine de l'architecture, la conception universelle vise à « concevoir des produits et des environnements qui peuvent être utilisés par tous, dans toute la mesure du possible, sans nécessité d'adaptation ou de conception spécifique » (Story et al., 1998). Barcenilla et Bastien (2009) soulignent que l'enjeu d'une telle démarche est de répondre à des questions éthiques en termes d'inaccessibilité de produits ou services pour certains publics et notamment ceux faisant l'objet d'exclusion sociale (personnes en situations de handicap quel qu'il soit : moteur, cognitif, sensoriel,...). L'objectif étant de prendre en considération tous les publics dans des projets de conception mais surtout de minimiser le risque de stigmatisation associé aux produits spécifiques (Coleman et al., 2003).

Sept principes (Connel et al., 1997) viennent enrichir cette définition :

Principe 1 : usage égalitaire

Un produit conçu selon une approche de conception universelle doit être utile et commercialisable auprès de personnes ayant différentes capacités, sans adaptation nécessaire.

Principe 2 : flexibilité d'usage

Le produit doit satisfaire une vaste gamme de préférences et de capacités individuelles.

Principe 3 : usage simple et intuitif

L'usage du produit est facile à comprendre, indépendamment de l'expérience, des connaissances, des compétences linguistiques de l'utilisateur ou de son niveau de concentration au moment de l'utilisation.

Principe 4 : information perceptible

Le produit communique efficacement à l'utilisateur l'information nécessaire, quelles que soient les conditions ambiantes ou les capacités sensorielles de la personne.

Principe 5 : tolérance à l'erreur

Le produit minimise les dangers et les conséquences négatives des accidents ou des actions involontaires.

Principe 6 : effort physique minimal

L'usage du produit est efficace et confortable, générant une fatigue minimale.

Principe 7 : dimensions et espace prévus pour l'approche et l'utilisation

La taille et l'espace doivent être adéquats pour s'approcher, saisir, manipuler et utiliser le produit, quelles que soient la taille, la posture ou la mobilité.

4/ Usagers et besoins

Un plan d'orientation universel signifie qu'il est accessible à tout type d'utilisateur. Or, chaque utilisateur possède ses besoins spécifiques. Dès lors, pour qu'un plan d'orientation soit universel, il doit permettre une interaction multimodale : visuelle, auditive, tactile, et être installé sur un meuble physiquement accessible à tous les utilisateurs.

Classification des usagers

Nous distinguons neuf catégories d'utilisateurs :

1. Utilisateurs dit « valides », sans déficit connu et sans limitation de leurs capacités

2. Usagers avec un déficit visuel
3. Usagers avec un déficit auditif
4. Usagers avec un déficit moteur
5. Usagers avec un déficit cognitif
6. Usagers en situation d'illettrisme
7. Enfants
8. Seniors
9. Etrangers ne parlant pas la langue

Les catégories ne sont pas exclusives les unes des autres.

Besoins des usagers

Nous distinguons deux types de besoins : les besoins communs à l'ensemble des usagers et les besoins spécifiques à chaque catégorie d'usagers.

Besoins communs

Certains besoins sont communs à tous les usagers quels que soient leurs capacités. Nous nous référons au modèle SOLID (Uzan, M'Ballo, Wagstaff, Dejeammes, 2011), initialement conçu pour décrire les besoins des piétons-voyageurs, qui s'applique également aux usagers d'un Etablissement Recevant du Public.

Les besoins sont divisés en 5 catégories :

1. Sécurité

Il s'agit pour les usagers d'éviter les chutes, les chocs, les collisions, de se sentir en sûreté (ne pas ressentir un risque de vol ou d'agression) et en cas d'incident, d'accident, de sinistre ou de situation d'urgence pouvoir évacuer ou se réfugier dans une zone de sécurité.

2. Orientation

Ce besoin comprend cinq dimensions : 1) maintenir une marche rectiligne, 2) respecter une trajectoire ou trajet, 3) mémoriser et se maintenir vers la destination attendue, 4) mémoriser et se maintenir dans l'itinéraire déterminé et, 5) pouvoir élaborer un itinéraire de substitution au cas où l'itinéraire initial n'est pas réalisable suite à des modifications environnementales ou personnelles.

3. Localisation

Les auteurs distinguent l'égo-localisation qui correspond au « où suis-je » c'est-à-dire sa propre localisation dans l'espace, et l'allo-localisation qui permet de connaître les espaces et les objets les composants.

4. Informations

Ce besoin comprend deux dimensions : 1) les informations liées aux transports et 2) celles hors transports sur l'environnement, les activités et services.

5. Déplacement physique

Ce besoin comprend deux dimensions : 1) évitement des difficultés de franchissement et 2) évitement de la pénibilité de la charge physique du déplacement due aux caractéristiques des usagers ou à l'infrastructure.

Besoins spécifiques

Les capacités de chaque catégorie d'usagers engendrent des besoins spécifiques concernant la découverte d'un plan d'orientation. Nous résumons l'ensemble de ces besoins dans le Tableau 23 ainsi que les sens mobilisés par chaque catégorie d'usagers.

Tableau 23 : besoins concernant l'appréhension des plans d'orientation pour chaque catégorie d'utilisateurs et spécification des sens mobilisés.

Catégories d'utilisateurs	Modalité	Besoins spécifiques pour les plans d'orientation
Valides	Tactile, visuel (graphique et textuel), auditif	/
Déficience visuelle	Tactile et auditif	Utilisateurs aveugles : <ul style="list-style-type: none"> - texte en Braille pour les brailleistes - synthèse vocale : <ul style="list-style-type: none"> o nomme verbalement les éléments o explique le chemin - paramétrage du volume de la synthèse vocale - pictogramme en relief - éléments en volume
		Utilisateurs malvoyants : <ul style="list-style-type: none"> - paramétrage de la couleur (texte/fond), de la taille du texte situé sur l'écran, du volume de la synthèse vocale - synthèse vocale
Déficience auditive	Visuel (graphique) et tactile	Utilisateurs sourds : <ul style="list-style-type: none"> - vidéo en Langues des Signes Française (LSF) - affichage visuel : affichage du trajet à suivre à l'écran

		Utilisateurs malentendants : <ul style="list-style-type: none"> - paramétrage du volume - présence d'une boucle à induction magnétique sur le dispositif
Retard mental	Visuel (graphique), tactile, auditif	<ul style="list-style-type: none"> - un seul niveau hiérarchique d'information : l'ensemble des réglages et services sont directement accessibles via le pupitre. - synthèse vocale - usage de pictogrammes - affichage du trajet à suivre à l'écran
Mobilité réduite	Visuel (graphique et textuel), tactile, auditif	<ul style="list-style-type: none"> - insertion du fauteuil roulant sous le pupitre - appréhension du plan dans son intégralité
Illettrisme	Auditif, tactile et visuel (graphique)	<ul style="list-style-type: none"> - un seul niveau hiérarchique d'information : l'ensemble des réglages et services sont directement accessibles via le pupitre. - synthèse vocale - usage de pictogrammes - affichage du trajet à suivre à l'écran
Enfants	Visuel (graphique et/ou textuel selon l'âge), tactile et auditif	<ul style="list-style-type: none"> - un seul niveau hiérarchique d'information : l'ensemble des réglages et services sont directement accessibles via le pupitre. - synthèse vocale - usage de pictogrammes - éléments en volume - affichage du trajet à suivre à l'écran

		- appréhension du plan dans son intégralité
Seniors	Tactile et/ou visuel (graphique et textuel), auditif	- un seul niveau hiérarchique d'information : l'ensemble des réglages et services sont directement accessibles via le pupitre. - paramètres pour les déficients visuels - paramètres pour les déficients auditifs - appréhension du plan dans son intégralité
Etrangers ne parlant pas la langue	Tactile et/ou visuel (graphique)	- usage de pictogrammes - affichage du trajet à suivre à l'écran - synthèse vocale : choix de langues proposées (variable selon la demande du client) - basculer la synthèse vocale dans une autre langue (anglais <i>a minima</i>)

5/ Questionnements préalables

Quel est le budget ?

Cette question est primordiale, en effet, les propositions, les choix des matériaux et des procédés de fabrication en dépendent.

Où sera disposé le plan d'orientation ?

Un plan d'orientation peut être disposé en intérieur ou en extérieur, sa localisation impacte les techniques de fabrication et le contenu informationnel.

1. Influence des techniques de fabrication

Un plan d'orientation extérieur doit être robuste et résistant aux intempéries (pluie, froid, chaleur). Les matériaux et fixations doivent résister aux actes de vandalisme, notamment dans des espaces non surveillés.

2. Influence sur le contenu informationnel

Un plan d'orientation extérieur contient des informations spécifiques tels les transports de proximité ou des points de repères clefs de l'environnement.

Quels sont les objectifs du plan d'orientation ?

Il s'agit de déterminer les objectifs du plan d'orientation et les contextes d'utilisation. Les objectifs peuvent être nombreux :

- Emmener les usagers à l'accueil où ils seront guidés par le personnel.
- Fournir des informations sur la structure générale du bâtiment : le nombre d'étages, la répartition des escaliers / ascenseurs, les espaces, l'architecture.
- Indiquer les différents services (accueil, toilettes, vestiaire,...) ainsi que les flux et circulations au sein des bâtiments, c'est-à-dire les chemins à emprunter.
- Plan d'étapes ou de situation (Figure 93) : le bâtiment dispose de plusieurs plans d'orientation disposés à chaque étage ou à des points clefs du parcours du visiteur. Les plans d'orientation présentent les cheminements, les espaces environnants ainsi que les services de proximité. S'il y a plusieurs plans dans un même bâtiment, il est impératif de suivre les mêmes principes de conception sur chacun des plans afin de les homogénéiser et d'éviter un réapprentissage aux usagers.



Figure 93 : plan de situation (Projet Pavillon de l'Horloge du Louvre) (crédit photo: Tactile Studio).

Plus largement, comme tout produit, les plans d'orientations doivent répondre aux critères d'utilisabilité (efficacité, efficacité et satisfaction) (ISO 9241).

Quel est le type de plan d'orientation ?

Nous distinguons deux catégories de plans d'orientation, les plans statiques (non interactifs) et les plans dynamiques (interactifs).

Les plans statiques universels peuvent être bi-modaux (visuotactiles) ou tri-modaux (visuo-audio-tactiles). Dans la Figure 94, les boutons audio (représentés en rouge) sont intégrés dans le plan d'orientation et le pictogramme « casque » (en haut à gauche) indique aux usagers que l'écoute des informations se fait par casque. A droite du casque, les usagers peuvent sélectionner leur langue en appuyant sur le bouton (en forme de croix).

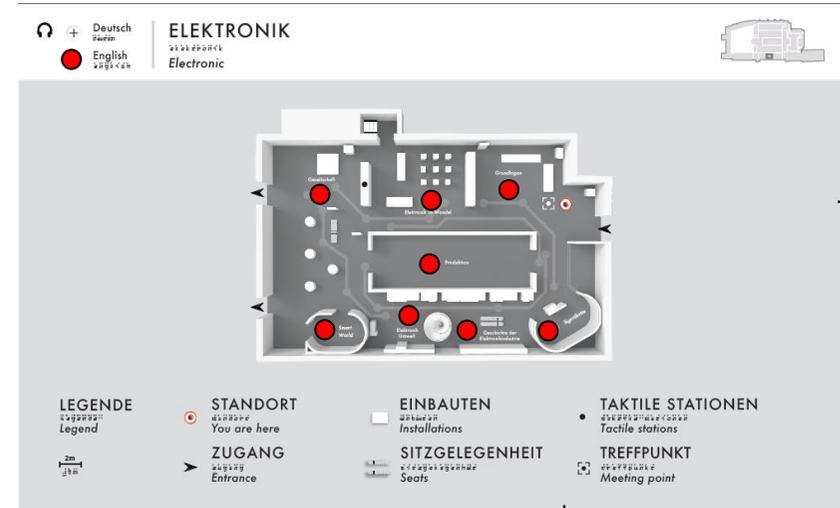


Figure 94 : plan d'orientation visuo-audio-tactile (Projet Deutsches Museum) (crédit photo: Tactile Studio).

Les plans dynamiques (Figure 95) fournissent des informations visuelles statiques et dynamiques (via un ordinateur), tactiles statiques, auditives voire en Langue des Signes Françaises. Le dispositif est équipé d'un ordinateur et d'un écran. Le relief est usiné sur une plaque de Plexiglas.



Figure 95 : plan d'orientation dynamique (Projet la Villette) (crédit photo : Tactile Studio).

Quelle(s) méthode(s) de fabrication ?

Le choix d'une méthode de fabrication et des matériaux dépend du budget du client et de l'implantation du plan d'orientation. Dans tous les cas, les matériaux doivent être pérennes et aisément nettoyables, comme par exemple le corian. La maintenance doit être facilement réalisable, notamment lorsqu'il s'agit de plans d'orientation dynamiques.

Les procédés de fabrication

Il existe plusieurs procédés pour fabriquer les plans d'orientation :

- le fraisage numérique ;
- l'impression 3D permet de concevoir les pictogrammes ou des éléments en volume et de venir les ajouter sur le plan d'orientation ;
- l'impression UV sur des plaques de PVC ou PMMA ;
- la découpe laser.

Un même plan peut coupler plusieurs procédés.

Les matériaux

Les plans statiques sont généralement produits en PVC, PMMA ou corian.

Les plans dynamiques sont composés d'un cadre incluant les boutons, d'un écran en relief (plaque de Plexiglas usinée) sous lequel est disposé un écran.

Il est possible d'ajouter des éléments issus de matériaux différents (métal, bois, corian, etc).

Le Tableau 24 récapitule les procédés de fabrication selon les matériaux et la typologie de plans d'orientation.

Tableau 24 : récapitulatif des procédés de fabrication utilisés en fonction des matériaux et du type de plan d'orientation.

Plans d'orientation	Matériaux		Procédés de fabrication
	Support		
Statique	Support	Corian	Fraisage numérique
		PVC	Impression UV
		PMMA	Impression UV
	Insertion éléments	Métal	Fraisage numérique
		Bois	Fraisage numérique
		Corian	Fraisage numérique
		PMMA	Fraisage numérique
	Résine polymère liquide	Impression 3D	
Dynamique	Plaque de Plexiglas (plan d'orientation)		Fraisage numérique
	Corian (cadre)		Découpe laser Fraisage numérique

6/ Recommandations

6.1/ Installation du plan d'orientation dans le bâtiment

Observation

Le plan d'orientation ou de situation permet aux usagers de se repérer en toute autonomie. Il est une aide au cheminement.

Recommandations

- Positionner le plan d'orientation dès l'entrée, spécialement si le bâtiment est complexe.
- Positionner les plans de situation à des points clefs du cheminement, par exemple lorsqu'il y a plusieurs directions pour indiquer celle à suivre.
- Situer le plan d'orientation de manière à ce qu'il soit visible et rapidement distinguable :
 - Le mettre à l'écart visible afin qu'il attire les usagers.
 - Ne pas le mélanger avec d'autres supports, les usagers risquent de ne pas le voir ou de le confondre avec un autre dispositif.
 - Ne pas le mettre dans la pénombre.
 - Eventuellement, indiquer le plan grâce à un affichage mural positionné juste au-dessus.

6.2/ Le mobilier

Observation

Le plan d'orientation doit être disposé sur un mobilier à une hauteur et profondeur appréhendable par le plus grand nombre (Figure 96).

Recommandations

- Le plateau sur lequel est positionné le plan d'orientation doit au maximum mesurer 60 cm de profondeur afin que les usagers puissent appréhender de manière optimale le plan sans être obligés de se pencher pour accéder aux informations situées en haut du panneau.
- Le plateau sur lequel est positionné le plan d'orientation doit être situé à 70 cm du sol afin qu'un fauteuil roulant puisse s'insérer en dessous.
- Le pied du mobilier doit être placé de sorte à permettre à un fauteuil de s'insérer en dessous.
- Pour une appréhension tactile et visuelle aisée, le plateau sur lequel est positionné le plan d'orientation doit être incliné de 20°. Cela évite, notamment, que les usagers plient le poignet en touchant le plan d'orientation.

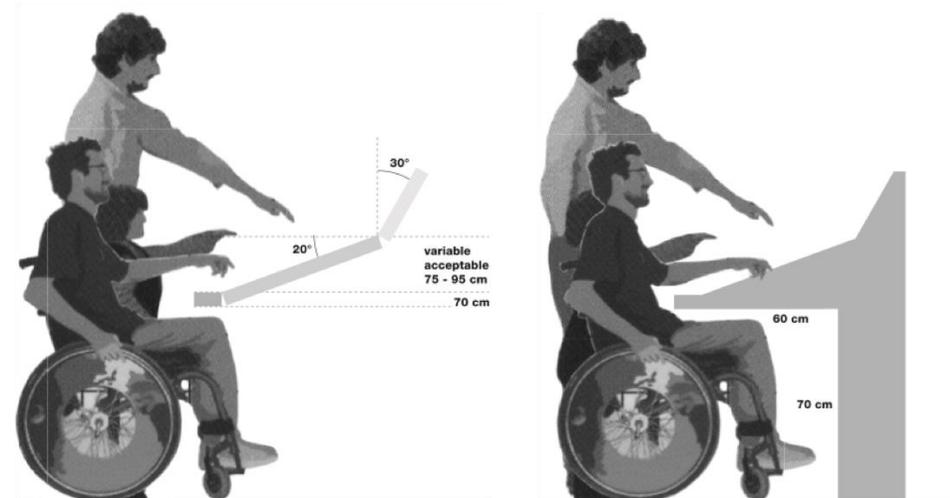


Figure 96 : format du mobilier du plan d'orientation (crédit photo: Tactile Studio).

6.3/ Agencement global du plan d'orientation

Observation

Afin d'optimiser l'appréhension globale du plan d'orientation, il est nécessaire de le structurer et de délimiter chaque partie. Si le bâtiment possède plusieurs plans d'orientation, il faut veiller à les homogénéiser et systématiser l'agencement afin d'accroître la rapidité de découverte et la compréhension.

Recommandations

- Séparer par un trait séparateur tactile et visuel (traits plus épais que les autres éléments en relief) les différentes zones du plan, à savoir : le titre, la légende et la carte (Figure 97).

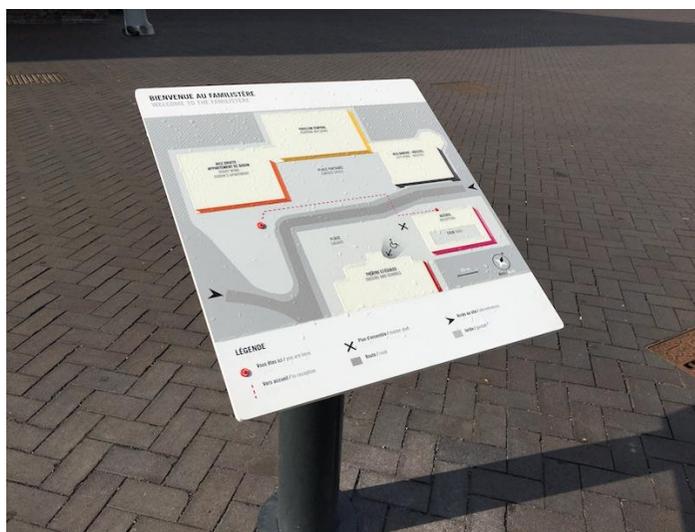


Figure 97 : exemple de séparation (Projet Familistère de Guise) (crédit photo : Tactile Studio).

- Positionner le titre en haut à gauche, afin de respecter les procédures de lecture (visuelle et tactile)

- La carte et la légende doivent se situer au centre de plan d'orientation :
 - En parallèle de préférence (légende à gauche et carte à droite).
 - Juxtaposée : la carte au centre et la légende en dessous.

6.4/ Hiérarchisation des informations

Observation

Pour faciliter la découverte et la compréhension du plan d'orientation, en amont, il est nécessaire d'établir avec le client une hiérarchisation de l'information. Nous distinguons trois niveaux informationnels :

- Niveau 1 : informations les plus importantes devant être accessibles à tous (ex : le repère « vous êtes ici » ou les toilettes).
- Niveau 2 : informations importantes mais pas essentielles qui sont accessibles si les usagers prennent le temps de les découvrir (ex : la cafétéria).
- Niveau 3 : informations pointues (ex : un élément architectural ou décoratif) qui, pour les non-voyants, sont appréhendables par les experts tactiles.

Recommandations

Structurer l'ensemble du plan:

- Hiérarchiser le niveau d'information sur le plan d'orientation : 1) informations principales (reliefs dominants), 2) informations secondaires (reliefs médians) et 3) informations de détail. Garder les éléments en creux pour le troisième niveau, car ils impliquent de posséder une forte discriminabilité tactile. Ainsi, les personnes n'étant pas des lecteurs tactiles aguerris peuvent accéder aux informations importantes (premier et second niveaux).

- Dissocier les éléments de contenu : au lieu de présenter plusieurs niveaux sur un même plan créer un plan pour chaque niveau.

6.5/ La légende

Observation

Alterner entre le plan et la légende interrompt et perturbe le processus de lecture, engendrant une perte de repères chez les usagers. En outre, cette alternance entre carte et légende augmente la charge cognitive et le temps de découverte.

Recommandations

- De préférence, intégrer la légende dans le plan :
 - Soit en écriture noire et en Braille (Figure 98).

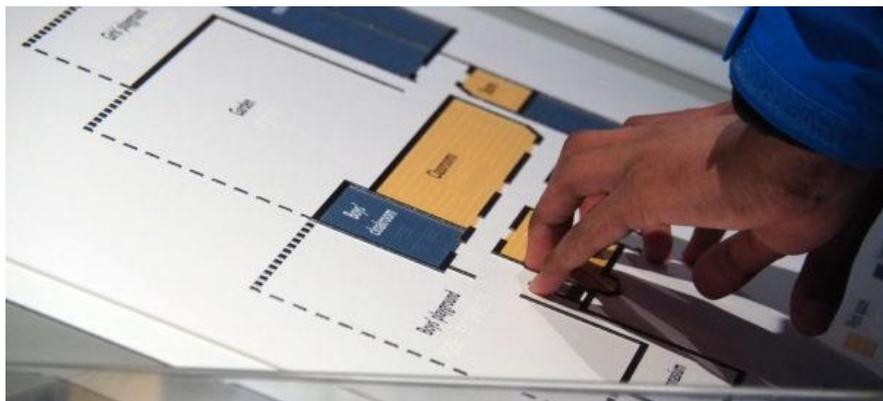


Figure 98 : exemple de plan d'orientation avec légende intégrée en écriture noire et Braille (Projet Museum de Liverpool) (crédit photo : Tactile Studio).

- Soit avec un bouton-poussoir audio. Attention, l'information audio ne doit pas dépasser 2 minutes par bouton, au-delà l'attention des usagers décroît (Figure 99).

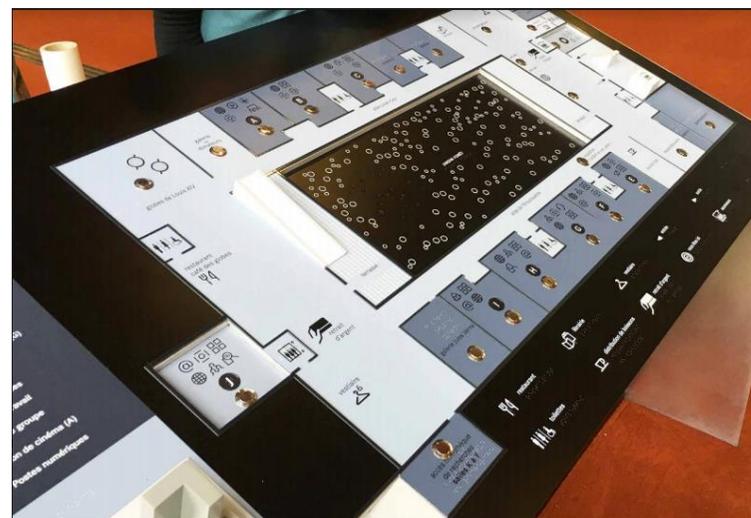


Figure 99 : exemple de plan d'orientation avec légende intégrée avec bouton-poussoir (Projet BNF) (crédit photo : Tactile Studio).

- S'il est nécessaire de légender des éléments, positionner la légende en parallèle (gauche, droite ou en dessous) afin que les personnes non-voyantes aient simultanément une main sur la légende et une main sur la carte.
- Ne pas superposer texte et texture, cela complexifie la distinction des éléments et a fortiori la compréhension.

6.6/ Recommandations tactile

Observation

La conception tactile implique de respecter certaines règles concernant les reliefs et textures afin de faciliter la découverte tactile et éviter toute surcharge mentale.

Recommandations

- Adapter la hauteur des reliefs en fonction de la taille du plan d'orientation : plus un plan d'orientation est grand plus les reliefs doivent être importants.
- Adapter la quantité d'informations à fournir en fonction des dimensions du plan d'orientation.
- Pour contraster les éléments du plan, utiliser diverses textures, formes, tailles, orientations et espaces (Figure 100).



Figure 100 : plan d'orientation extérieur avec des différents éléments de contraste (Projet de la Fondation Louis Vuitton) (crédit photo : Tactile Studio).

- Utiliser des textures simples et sans embellissement.
- Ne pas utiliser la perspective mais représenter les éléments en verticalité ou en horizontalité.
- Utiliser au maximum 5 textures différentes, ces dernières doivent être plutôt glissantes que granuleuses. Au-delà de 5 textures la charge mentale augmente pour les personnes non-voyantes.

- Employer 8 niveaux de relief au maximum car au-delà les temps d'exploration et de compréhension augmentent (Figure 101).

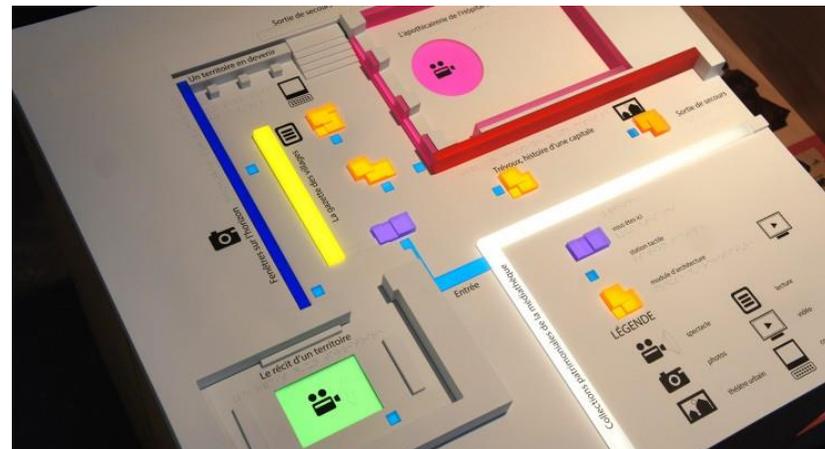


Figure 101 : plan d'orientation comprenant plusieurs niveaux de relief (Projet Espace Culturel La Passerelle) (crédit photo : Tactile Studio).

- Les murs doivent être épais afin d'aider les personnes à structurer l'espace. Si le plan d'orientation est imprimé en UV, les murs doivent faire 2mm d'épaisseur. Veillez toutefois, à ne pas faire des murs d'une hauteur supérieure à 4mm car ils casseraient la lecture tactile.
- Signifier les portes par des espaces de 1 cm.

6.7/ Recommandations Audio

Observation

L'information audio complète les informations tactiles et visuelles. Elle est importante, notamment pour les usagers non- et malvoyants, les enfants ne sachant pas encore lire et les personnes en situation d'illettrisme.

Recommandations

- Proposer une fonctionnalité de vocalisation des éléments de l'interface si le plan est dynamique.
- Proposer les fonctionnalités Play/Pause et Volume (augmenter ou diminuer).
- Sélectionner la langue: à minima la langue du pays (français) + l'anglais.
- Employer l'un des deux modes de diffusion suivant:
 - Diffuser l'audio via des hauts parleurs. Attention, ce mode de diffusion n'est pas approprié aux espaces bruyants.
 - Intégrer une prise jack pour brancher son propre casque audio ou un casque audio mis à disposition de l'utilisateur par l'établissement (Figure 102).

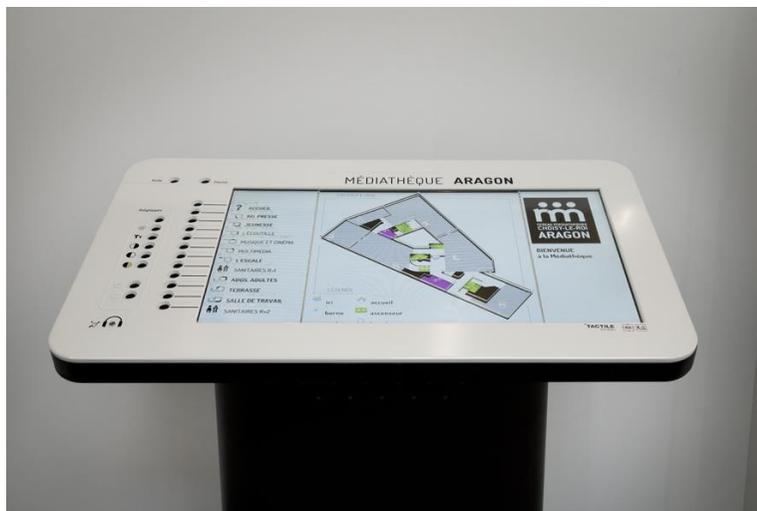


Figure 102 : plan d'orientation dynamique proposant des paramètres pour l'audio) (Projet Médiathèque Aragon de Choisy-le-Roi) (crédit photo : Tactile Studio).

- Equiper le dispositif d'une boucle magnétique pour les personnes malentendantes et l'indiquer sur le plan d'orientation.
- Equiper le dispositif d'un haut-parleur pour la sortie audio.
- Pour les personnes sourdes, compléter les informations visuelles et sonores par un encart comprenant une vidéo dans laquelle un interprète en Langue des Signes Française fournit les indications pour atteindre le lieu souhaité (Figure 103).



Figure 103 : encart proposant une vidéo en Langue des Signes Française (Projet Fondation Orange) (crédit photo : Tactile Studio).

- Utiliser des boutons poussoirs audio plats, ces derniers sont anti-vandalisme (Figure 104), affleurant la station, les usagers ne peuvent pas les enlever.



Figure 104 : bouton-poussoir anti-vandalisme (source : <https://www.lextronic.fr/boutons-poussoirs/3226-bouton-poussoir-plat-anti-vandal.html>).

6.8/ Recommandations typographiques

Écriture noire

Observation

La majorité des usagers utilisent les informations textuelles. Elles doivent être lisibles et permettre aux usagers de rester en position debout pour les lire.

Recommandations

- Utiliser une police d'écriture « Sans sérif » à espacement fixe – comme par exemple Trebuchet - et proscrire celles à empattements. Selon l'AFNOR les polices Linéales, Incises, Mécanes et Humanes sont les plus accessibles (NF Q 67-004, 1983 ; NF Q 60-007, décembre 1977).
- La taille minimale police d'écriture : 12 ou 14 points
- Les écritures en majuscule et en italique sont déconseillées car elles amoindrissent la lisibilité du texte (Rainger, 2003; British Dyslexia Association, 2009 ; Lebrun et Berthelot, 1991 ; Bradford, 2010).
- Donner la possibilité à l'utilisateur d'ajuster à sa convenance la taille de la police si le plan est dynamique via des paramètres « A- / A+ ».
- Proposer trois niveaux textuels hiérarchiques maximum (titre, sous-titre (si besoin) et texte) car la mise au point est difficile pour la malvoyance.

Écriture Braille

Observation

Le code Braille a été inventé en 1829 par Louis Braille, il est réglementé par la norme AFNOR NF Q 67-006 (février 1985). A ce jour, il demeure l'unique système de communication textuel des aveugles et des personnes atteintes de surdité,

cela est dû à sa flexibilité et la possibilité de représenter toutes les langues ainsi que les notations musicales, scientifiques et mathématiques (Tobin, Greaney et Hill, 2000).

La Figure 105 illustre quatre cellules Braille, chaque cellule est composée de six points dont les dimensions sont standardisées et adaptées aux capacités sensorielles des individus. L'espacement des points et leur orientation étant immuables il faut prévoir un espace d'inclusion suffisant (Tatham, 1991, cité par Brock, 2013).

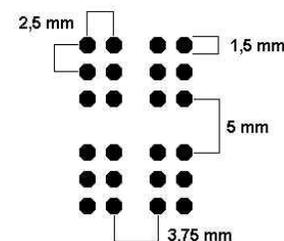


Figure 105 : dimension d'une cellule et espace entre plusieurs cellules (source: <http://enfant-aveugle.com/spip.php?article12/>).

Le Braille est indispensable sur un plan d'orientation, toutefois, il est couteux en espace. En outre, lire le Braille est fatigant pour des brailleux non aguerris. Rappelons que seulement 12% des personnes non-voyantes sont brailleux.

Recommandations

- Limiter la quantité d'informations textuelles et se centrer sur l'essentiel.

6.9/ Recommandations visuelles

Observation

Ce point concerne plus particulièrement les plans dynamiques avec un écran. Certains utilisateurs sont plus visuellement sensibles que d'autres lors d'une lecture sur écran.

Recommandations

- Permettre d'augmenter ou de diminuer la luminosité du plan d'orientation (pictogramme d'un soleil + / -).
- Permettre de choisir le contraste :
 - Ecriture noire sur fond blanc.
 - Ecriture blanche sur fond noir.
 - Ecriture jaune sur fond bleu.

Sur les plans statiques, nous recommandons de toujours avoir un contraste d'au moins 70% entre l'écriture et le fond. Les couleurs pouvant être tributaires de la charte graphique des projets.

6.10/ Eléments visuotactiles

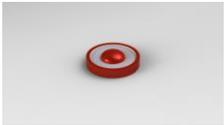
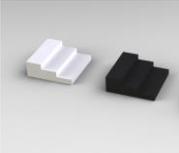
Pictogrammes et symboles

Observation

Nous avons conduit une série d'expérimentations pour concevoir des pictogrammes visuotactiles universels.

Nous avons défini 9 pictogrammes clefs (Tableau 25).

Tableau 25 : gamme de pictogrammes visuotactiles.

Pictogrammes	Justification	Représentation visuotactile
Toilettes / WC	Il agit comme point de repère et est également une source de « confort » pour l'utilisateur.	
Vous êtes ici	Pictogramme essentiel. Il permet aux usagers de se situer dans l'espace et d'établir leurs parcours. Ce doit être le pictogramme le plus proéminent sur le plan d'orientation.	
Accès (entrée / sortie)	Indique les cheminements	
Ascenseurs	Ce sont des points de repère et de structuration de l'espace mais indiquent aussi les moyens de déplacement aux usagers.	
Escaliers		
Accueil ou Pt information	Certains usagers préfèrent se référer à du personnel pour obtenir des informations, ce service est l'un des prioritaires à indiquer sur un plan	

Restaurant	Il est nécessaire de distinguer la cafeteria du restaurant. En effet, la cafeteria renvoie à une idée de déjeuner « sur le pouce », de détente alors que le « restaurant » indique aux visiteurs un vrai repas	
Points cardinaux (Nord, Sud, Est, Ouest)	Permet aux usagers de se repérer dans l'environnement	
Echelle	Permet aux usagers de se donner une idée de taille de l'espace	

Recommandations

- Pour la conception d'un nouveau pictogramme respecter les critères de transposabilité (dimension adaptée à la surface du doigt, absence de perspective, simplicité et discriminabilité).
- Ne pas surcharger le plan d'orientation de pictogrammes ou symboles, au maximum en employer 8 à 10.

Quelques précisions :

Echelle

Observation

Les échelles permettent aux usagers de se construire un ordre de grandeur de l'espace.

Recommandations

- Indiquer l'échelle sur le plan.
- Ne pas changer d'échelle sur un même plan.
- Veiller à ne pas noyer l'échelle dans le plan. Si possible, la mettre en retrait (en bas à droite) tout comme la rose des vents.

Repère « vous êtes ici »

Observation

Le repère « vous êtes ici » est l'élément le plus important du plan d'orientation, il permet aux usagers de se situer dans l'espace et de trouver leur chemin. De ce fait, il doit être perçu le premier et rapidement.

Recommandations

- Pour que le repère « vous êtes ici » fasse sens, le plan d'orientation doit être aligné par rapport au bâtiment.
- Pour qu'il soit perçu en premier et rapidement, nous recommandons :
 - Que ce repère soit le plus fort relief du plan et le plus visible.
 - D'utiliser une demi sphère rouge.
 - Si possible, d'illuminer la sphère, via une led par exemple, pour attirer le regard des usagers.

7/ Recueil des données

Nos recommandations proviennent de plusieurs sources que nous avons analysées dans une logique universelle, c'est-à-dire que nous veillons à respecter les attentes de chaque catégorie d'usagers sans pénaliser les autres. Notre objectif est de

remplir les critères d'acceptabilité fonctionnelle, sociale et d'accessibilité (Nielsen, 1993) (Figure 106).



Figure 106 : critères d'acceptabilité fonctionnelle, sociale et d'accessibilité (Clarkson et al.(2003) d'après Plos (2011)).

7.1/ Veille bibliographique

Nous avons mené une veille bibliographique sur la conception de plans d'orientation à la fois sur ceux dédiés aux personnes non-voyantes et sur ceux conçus dans une démarche universelle.

7.2/ Benchmark

Le benchmark portait également sur des plans destinés aux personnes déficientes visuelles ou conçus dans une démarche universelle.

Dans ce cadre, nous avons mené un entretien avec le créateur de « CityTak » qui propose des plans d'orientation accessibles à tous les usagers (Figure 107).

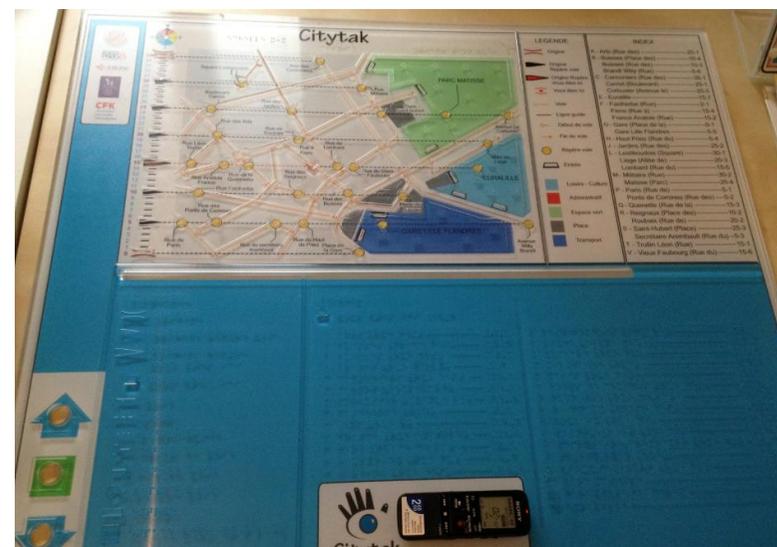


Figure 107 : plan d'orientation CityTak.

7.3/ REX clients

Nous avons conduit des entretiens auprès de douze anciens clients de Tactile Studio (le Château de Versailles, la Villette, Le Louvre (Pavillon des Arts de l'Islam), etc.) soit près de 20 heures d'entretiens, afin de recueillir des indicateurs de performance des produits en termes de :

- lisibilité ;
- orientation ;
- satisfaction des clients et des usagers ;
- usage des dispositifs par les visiteurs.

Ces entretiens nous ont permis de déterminer les critères clés à respecter pour les clients, à savoir la pérennité des dispositifs, la facilité de nettoyage par les agents de nettoyage ainsi que la logistique (remplacement, maintenance informatique dans le cas de plans d'orientation dynamiques).

7.4/ Entretiens auprès d'experts

Nous avons mené des entretiens semi-directifs auprès de professionnels du handicap visuel (Tableau 26). Au total, nous capitalisons 21 heures d'entretiens.

Tableau 26 : experts rencontrés.

Experts	Fonctions	Capacités visuelles
Gérard Uzan	Enseignant-chercheur (Paris 8)	Non-voyant
Anne Chotin	INSHEA	Non-voyante
Michel Bris		Voyant
Hoëlle Corvest	Cité des Sciences	Non-voyante
Christophe Bevilacqua	Créateur plan « CityTak »	Voyant
Sarah Bougault	Illustratrice	Voyante

L'objectif était de recueillir des pistes de recommandations pour la conception des plans d'orientation.

7.5/ Projets de Tactile Studio

Nous avons également mené des inspections ergonomiques et observations participantes dans de nombreux projets, dont neuf d'entre eux incluant des tests utilisateurs avec des personnes déficientes visuelles et des enfants (soit plus de 40 heures de test).

Les projets sont les suivants:

1. Le château de Champs-sur-Marne, 2015 (maquette tactile démontable du château ainsi que trois planches illustrant des décorations murales).

2. Le Panthéon, 2015 (portraits en bas-reliefs des quatre personnalités panthéonisées en 2015 : Geneviève de Gaulle, Germaine Tillon, Pierre Brossolette et Jean Zay).
3. Le Panthéon, 2017 (dispositif tactile avec une maquette du Panthéon et un plan de la nef).
4. Le Musée de l'Homme, 2015 (plusieurs stations tactiles en lien avec les thématiques abordées dans l'exposition).
5. La petite Galerie du Louvre (livret tactile comprenant certaines œuvres de l'exposition).
6. Le Pavillon de l'Horloge du Louvre, 2016 (plusieurs stations tactiles et des plans de situation).
7. Le Familistère de Guise, 2017 (maquette du Familistère avec plusieurs plans d'orientation).
8. Le MUCEM de Marseille, 2017 (plusieurs stations tactiles et un plan introductif du parcours muséographique).
9. Le Deutsches Museum de Berlin, 2017 (plusieurs plans d'orientation pour chaque espace du musée).
10. Le musée de la Romanité de Nîmes, 2018 (plusieurs stations tactiles et un plan d'orientation).

Les tests utilisateurs ont permis de valider certains principes de conception (comme par exemple l'épaisseur des murs de 2mm lorsque le mode de fabrication est de l'impression UV) et ainsi de les formaliser en recommandations.

7.6/ Recherche expérimentale

Une série d'expérimentation, qui a impliqué en tout 427 participants (adultes et enfants, avec et sans déficience visuelle) a permis le développement d'une gamme de pictogrammes universels récurrents sur les plans d'orientations.

7.7/ Veille législative

Les plans d'orientation et plus largement la signalétique s'inscrivent dans le cadre de l'application de Loi n°2005-12 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation à la citoyenneté des personnes handicapées.

En effet, à partir de 2015, les Établissements Recevant du Public (ERP) doivent offrir un accès à l'information à tout public incluant dès lors ceux atteints de handicap.

Par rapport à la signalétique, l'annexe 3 « Information et signalisation » de l'Arrêté du 1^{er} août 2006 énonce que « lorsque des informations permanentes sont fournies aux visiteurs par le moyen d'une signalisation visuelle ou sonore, celles-ci doivent pouvoir être reçues et interprétées par un visiteur handicapé. Les éléments d'information et de signalisation doivent être visibles et lisibles par tous les usagers. En outre, les éléments de signalisation doivent être compréhensibles notamment par les personnes atteintes de déficience mentale [...]. La signalisation doit recourir autant que possible à des icônes ou à des pictogrammes. Lorsqu'ils existent, le recours aux pictogrammes normalisés s'impose ». Au regard de cet arrêté, la Direction Ministérielle à l'Accessibilité (DMA) a produit un « Guide méthodologique de conception d'une signalétique accessible à tous » contenant des recommandations en termes de visibilité, lisibilité et compréhension, parmi lesquelles on peut citer :

- privilégier l'usage de logos ou pictogrammes pour l'identification des espaces ;
- utiliser le même code couleur entre le plan et la légende pour en faciliter sa lecture et compréhension ;
- utiliser une échelle pour l'appréciation des distances réelles ;
- enlever toutes les informations distractives.

8/ Bibliographie

Barcenilla, J., et Bastien, J.M.C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le Travail Humain*, 72, 377-331. doi:10.3917/th.724.0311.

BDA - British Dyslexia Association. (2009). *Good practice guidelines for supporting employees with dyslexia in the workplace*. Repéré à <http://www.northantspofed.org.uk/docs/BDA%20Code%20of%20Practice%204th%20Ed.pdf>

Bradford, J. (2010). Designing web pages for dyslexic readers. *Dyslexia Online Magazine*. Repéré à <http://www.dyslexiaparent.com/mag35.html>.

Brock, A. (2013). Interactive Maps for Visually Impaired People: Design, Usability and Spatial Cognition (Thèse de doctorat). Université de Toulouse, Toulouse.

Clarkson, P.J., Coleman, R., Keates, S., et Lebbon, C. (2003). *Inclusive Design. Design for the Whole Population*. Springer-Verlag London.

Coleman, R., Lebbon, C., Clarkson, J., et Keates, S. (2003). Introduction : from margins to mainstream. Dans R. Coleman, C. Lebbon, J. Clarkson, et S. Keates (dir.), *Inclusive Design : Design for the Whole Population* (p.1-25). London : Springer

Connell, B.R., Jones, M., Mace, R., Mueller, J., Mullick, A., Ostroff, E., Sanford, J., Steinfeld, E., Story, M., et Vanderheiden, G. (1997). *The principles of universal design*. Raleigh, NC : North Carolina State University, The Center for Universal Design.

Lebrun, N., et Berthelot, S. (1991). *Design de systèmes d'enseignement*. Montréal : Éditions Agence D'Arc.

Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Academic Press.

Plos, O. (2011). Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : application au marché de handicap moteur (Thèse de Doctorat), Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris.

Rainger, P. (2003). A Dyslexic Perspective on e-Content Accessibility. *JISC TechDis*.

Story, M., Mueller, J., et Mace, M. (1998). *Designing for People of all Ages and Abilities*. Raleigh, NC: North Carolina State University, The Center for Universal Design.

Tatham, A. F. (1991). The design of tactile maps: theoretical and practical considerations. Dans M. Rybaczak et K. Blakemore (Eds.), *Proceedings of*

international cartographic association: mapping the nations (pp. 157–166). London, UK: ICA.

Tobin, Greaney et Hill, 2000) Tobin, M.J., Greaney, J., et Hill, E. (2000). Le Braille : problèmes de structure, d'enseignement et d'évaluation. Dans Y. Hatwell, A. Streri, et E. Gentaz (dir.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (p.245-265). Paris : Presses Universitaires de France.

Uzan, G., M'Ballo, S., Wagstaff, P., et Dejeammes, M. (2011). SOLID : A Model of the information requirements in transport systems for sensory impaired people. Invited presentation ; 18^{ème} World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando, 16-18 october

Chapitre 8

Conclusions et perspectives

8.1. Apport pour Tactile Studio

A travers cette thèse CIFRE, Tactile Studio souhaitait d'une part apporter une validité scientifique à son expertise développée depuis 2009, et d'autre part capitaliser sur les connaissances et savoir-faire de l'équipe.

La validité scientifique regroupe plusieurs dimensions. Tout d'abord, l'une des attentes majeures portait notamment sur la création d'une gamme de pictogrammes visuotactiles universels, l'expérimentation 2 a notamment été conduite en ce sens. Les pictogrammes issus de nos travaux sont utilisés dans les nouveaux projets de l'entreprise, même si, comme nous l'avons souligné, il y a quelques améliorations à apporter, en particulier sur la hiérarchisation de l'information tactile. Par ailleurs, la systématisation des tests utilisateurs menés avec une approche scientifique, a permis à l'entreprise de renforcer son statut d'expert auprès des clients et des associations, certifiant ainsi la validité de ses recommandations. En effet, dans la mesure du possible, nous veillons pour chaque projet à réaliser des tests avec un panel d'utilisateurs diversifiés (enfants, malvoyants, non-voyants précoces, non-voyants tardifs). Enfin, ce partenariat scientifique était également un atout concurrentiel pour Tactile Studio, particulièrement lors de réponses à des Appels d'Offres.

La capitalisation des connaissances et savoir-faire sont illustrés dans le Livre Blanc qui regroupe toutes les bonnes pratiques suivies par les membres de l'équipe. Bien évidemment, ce Livre Blanc est évolutif et doit être mis à jour régulièrement en fonction du développement des nouvelles technologies et de faisabilité technique. L'un des objectifs de ce Livre Blanc est également d'assurer la transmission du savoir entre les anciens et nouveaux membres de l'équipe.

8.2. Validation de nos hypothèses

Dans l'état de l'art de cette thèse nous avons souligné les limites de la Conception Universelle : 1) difficile à appliquer (Singh et Tandon, 2016 ; Bady, 2016 ; Mustaquim, 2017), 2) peu rentable car orientée accessibilité et handicap et 3) ses bénéfices pour le grand public n'ont, à notre connaissance, jamais été validés scientifiquement. Un second constat concernait l'absence de méthodologie pour adopter une Stratégie Need Seekers. Nous avons donc posé deux hypothèses visant d'une part à valider scientifiquement les bénéfices de la conception universelle et d'autre part à outiller les entreprises pour innover dans une logique Need Seekers.

Nos résultats ne nous permettent pas de valider totalement nos hypothèses, mais ils demeurent très prometteurs. Le modèle de l'utilisateur extraordinaire nous a permis de structurer notre recherche visant à démontrer les bénéfices de la conception universelle pour l'ensemble des usagers. Les expérimentations que nous avons menées ont apporté de nombreux éléments concernant les bénéfices potentiels en matière d'innovation, ainsi que sur les limites de la conception centrée sur les besoins des utilisateurs extraordinaires.

Dans la première expérimentation nous souhaitons mettre en évidence les bénéfices du plan du musée de l'Homme conçu initialement pour les personnes déficientes visuelles sur la construction et la représentation mentale de l'espace comparé à un plan 2D. Les résultats ont démontré les bénéfices du plan sur l'identification des itinéraires et la représentation mentale de l'espace et nous encourageant à réaliser d'autres expérimentations afin de vérifier cette tendance. Nous pourrions par exemple, reconduire la pré-étude à La Villette, restée en suspens suite à l'inefficacité du questionnaire INTUI (Ullrich et Diefenbach, 2010). *In fine*, cette étude nous a permis de terminer le cycle de conception prévu dans le modèle de l'utilisateur extraordinaire avec l'évaluation auprès du grand public du produit conçu autour des besoins des usagers avec déficience visuelle.

Dans la deuxième expérimentation nous avons cherché à concevoir une gamme de pictogrammes visuotactiles universels. Pour ce faire nous avons conduit trois études. La première étude a montré les limites de l'approche top-down et nous a permis d'affiner notre modèle. En effet, les résultats de l'évaluation des pictogrammes initiaux conçus uniquement à partir des besoins des personnes non-voyantes a démontré qu'ils n'étaient pas compris par des adultes et des enfants voyants. Ainsi, dans la troisième étude, nous avons été amenés à adapter la méthode de l'utilisateur extraordinaire à une approche bottom-up, conjuguant les besoins non pas d'une mais de plusieurs catégories d'usagers à besoins spécifiques. Cette démarche nous a amenés notamment à revoir deux pictogrammes pourtant considérés comme classiques par de nombreux signaléticiens, le pictogramme des toilettes et celui de l'ascenseur. Le choix de représentations plus abstraites pour ces deux concepts a été guidé par les besoins des enfants et des usagers non-voyants. Les nouveaux pictogrammes visuotactiles ont fait l'objet de retours préliminaires positifs. Toutefois, nous devons mener d'autres études afin d'éprouver leur compréhension à la fois en France mais également à l'étranger afin de mesurer l'influence du facteur culturel. Ce projet est présenté ci-dessous dans nos perspectives de recherches.

Enfin, dans la troisième expérimentation, nous avons conçu un questionnaire permettant de mesurer l'intuitivité d'un produit. En effet, l'intuitivité est une dimension clef tant de la conception universelle que de l'expérience utilisateur. Or, l'échelle existante (INTUI) n'était pas utilisable auprès des enfants car trop complexe. Nous avons donc conçu un questionnaire simplifié de cette échelle existante, que nous avons validé auprès d'enfants et d'adultes pour nous assurer de sa fiabilité et de sa compréhensibilité.

L'Annexe 2 liste les publications qui ont été réalisées à ce jour sur la thèse, et la valorisation de nos travaux se poursuit. En outre, les résultats de ces trois expérimentations nous incitent à poursuivre nos travaux de recherche afin de démontrer la validité de notre modèle pour la génération d'innovations radicales d'usage. Dans la partie suivante, nous proposons quelques pistes allant en ce sens.

8.3. Perspectives de recherche

Nos perspectives de recherche portent sur deux axes principaux et visent à valider notre hypothèse selon laquelle le modèle de l'utilisateur extraordinaire permet de faire de l'innovation de rupture.

8.3.1. Les plans d'orientation

Le premier axe porte sur la continuation de notre projet de recherche sur la conception de plans d'orientation universels voire innovants.

Le premier aspect que nous envisageons d'étudier est le facteur culturel sur la compréhension des pictogrammes, facteur que nous n'avons pas abordé dans le cadre de cette recherche ; en effet, au-delà de la présence ou non d'une déficience chez les usagers, un plan d'orientation implique également d'être compris par des usagers de différentes cultures. Ainsi, comme nous le présentions dans la conclusion de la seconde expérimentation, nous souhaiterions reproduire l'étude 1 de mesure de la compréhension des pictogrammes sur la nouvelle gamme de pictogrammes visuotactiles que nous avons développée. Nous souhaiterions répliquer cette étude à la fois en France mais également à l'étranger. Nous avons l'opportunité notamment de poursuivre cette étude en Inde et en Chine dans l'année qui vient. En effet, l'intérêt est d'éprouver ces pictogrammes auprès de cultures très différentes. En outre, nous pourrions également définir l'impact de la couleur ; nous savons que d'une culture à l'autre une même couleur peut avoir une signification très différente.

Le second aspect concerne l'inclusion de son binaural au sein des plans d'orientation, plus particulièrement pour guider les usagers et les aider à se positionner dans l'espace. La technologie binaurale correspond à la spatialisation du son. Ainsi nous supposons que la spatialité apporterait une aide intuitive sur la prise de décision lors des déplacements et permettrait aux usagers d'identifier rapidement s'ils doivent se diriger vers l'avant, l'arrière, à droite ou à gauche par exemple.

Au-delà des données purement informationnelles sur l'orientation, le son peut aussi être utilisé pour transmettre de l'émotion. En pénétrant dans un nouvel espace, les voyants ont accès, via l'éclairage, les couleurs ou l'architecture, à des informations de nature émotionnelle sur l'ambiance du lieu, qui sont encodées dans la représentation mentale de l'espace et participent à la mémorisation et l'orientation. Dans une certaine mesure, les personnes non-voyantes peuvent aussi ressentir cette ambiance via l'acoustique de l'espace. Cependant, un travail de design sonore ou musical pourrait être mené pour accentuer ces éléments et contribuer à la construction de la représentation mentale du lieu. La question de la diffusion de ces informations pourrait se poser pour éviter, d'une part, la pollution sonore avec des dispositifs touchant l'ensemble des visiteurs et, d'autre part, l'isolement des usagers avec des dispositifs individuels comme des oreillettes. Il existe cependant des possibilités de mêler le son au toucher grâce à des technologies sonotactiles reposant notamment sur la conduction osseuse. L'information sonore pourrait ainsi être délivrée lors de l'interaction tactile avec le plan d'orientation ou avec d'autres surfaces, sans mobiliser l'appareil auditif de l'utilisateur. Ces technologies ont déjà été expérimentées avec des publics variés par exemple dans le projet

« Ecouter Autrement » (Criton et Genevois, n.d) qui met en œuvre des tables sonotactiles qui « transmettent l’information et permettent une écoute par le contact » ; elles ont été conçues pour les journées « Monuments pour Tous » dans l’objectif de favoriser « une écoute sensible à l’architecture, attentive à la spécificité des matériaux et soucieuse de la diversité sensorielle des publics ».

Le troisième aspect concerne l’usage de la chaleur et/ou de la vibration pour enrichir encore l’interaction tactile. Nous pourrions par exemple, utiliser la chaleur pour signifier le repère « vous êtes ici » et la vibration pour délimiter le pourtour du plan afin d’aider les usagers à se construire mentalement l’espace grâce à l’accroissement de l’identification des murs extérieurs.

Notre quatrième piste s’inscrit dans une démarche d’innovation de rupture visant à réinventer l’expérience d’orientation au sein d’un Etablissement Recevant du Public (ERP). Contrairement au projet de recherche présenté dans ce manuscrit, l’enjeu serait de repartir d’une feuille blanche et d’oublier les dispositifs existants d’aide à la navigation. Ce projet de recherche se composerait de cinq phases (Figure 108).

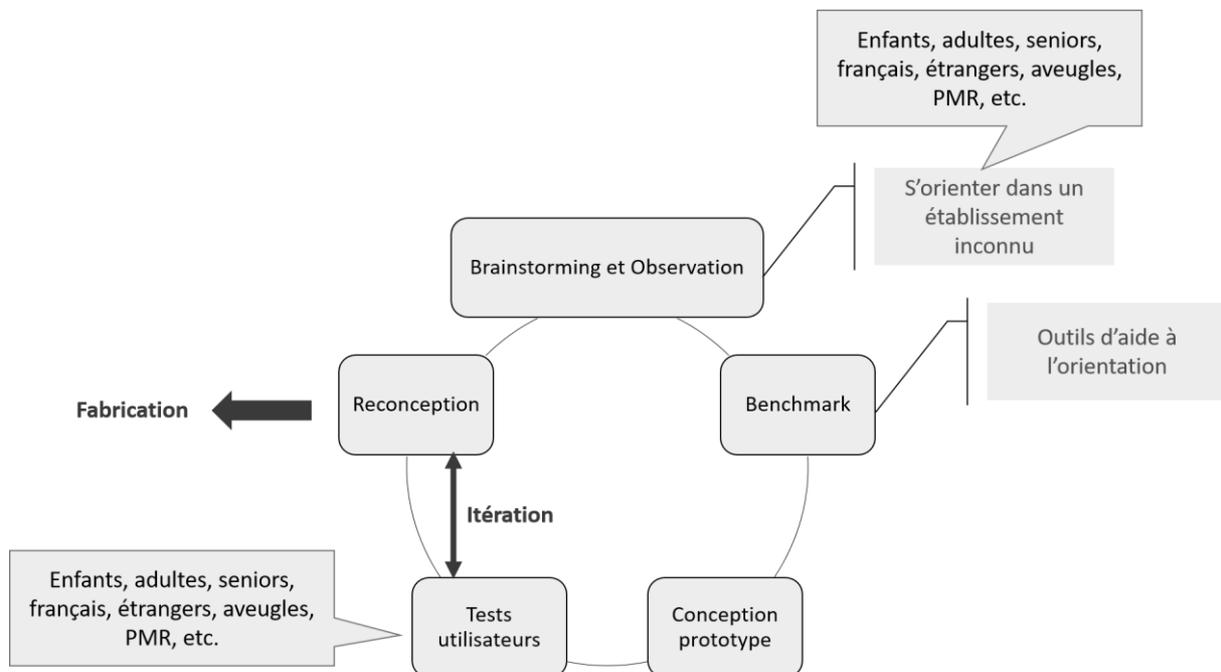


Figure 108 : étapes envisagées d’un projet de recherche pour réinventer l’expérience d’orientation au sein d’ERP.

La première phase serait la réalisation de séances de Brainstorming auprès de différents publics afin de faire émerger des idées créatives et innovantes sur l’orientation au sein d’un bâtiment inconnu. En parallèle, nous réaliserions des observations sur le terrain afin de relever les comportements d’utilisateurs extraordinaires dans des situations d’orientation ou de désorientation. Un benchmark des technologies et outils utilisés pour l’orientation (voire dans d’autres secteurs) viendrait enrichir la recherche créative. Ensuite, à partir de l’analyse des séances de brainstorming et du benchmark nous pourrions concevoir un ou plusieurs prototypes d’aide à l’orientation (étape 3) que nous testerions avec les publics auprès

desquels nous avons recueilli les idées. Le processus se poursuivrait par des boucles itératives de test / retest et l'élargissement de la population à tout type d'utilisateurs (étapes 4 et 5).

Cette étude nous permettrait également de valider ou d'affiner notre modèle de l'utilisateur extraordinaire en tant qu'outil favorisant l'innovation radicale d'usage.

8.3.2. Le modèle de l'utilisateur extraordinaire

Le second axe concerne le modèle de l'utilisateur extraordinaire.

Les utilisateurs extraordinaires ont des profils variés, ils peuvent des lead users, des enfants, des seniors, des personnes en situation de handicap, des non utilisateurs, etc. Habituellement, les leads users sont des utilisateurs valides ayant une appétence à prototyper. Toutefois, il est très compliqué d'identifier de tels profils (von Hippel, Thomke, Somnack, 1999 ; von Hippel, 2005), en outre cela engendre un coût temporel et financier pour les entreprises. Une autre voie à explorer pour pallier ces limites, serait de considérer des personnes en situation de handicap ou encore des seniors comme lead users. Dans ce cadre, Raviselvam et al. (2016) ont étudié le potentiel des personnes âgées à être des lead users : pour cela ils ont soumis à deux groupes (personnes âgées vs tout venant) des produits du quotidien, telles que des cannettes, et leur ont demandé de lister leurs difficultés. Ensuite, les auteurs ont conçu de nouveaux prototypes de ces produits, d'une part à partir des retours du groupe tout venant et d'autre part, à partir de ceux du groupe des personnes âgées. Ils ont ensuite demandé aux deux groupes de déterminer pour chaque produit quel prototype ils préféreraient, et les résultats montrent que 89% du groupe tout venant préfère les prototypes issus des retours du groupe des personnes âgées. Dans cette perspective, nous souhaiterions caractériser les dispositions personnelles des personnes déficientes visuelles en lien avec l'acquisition de compétences créatives de type lead-userness pour la conception de produits grand public.

Notre seconde piste est de mesurer la validité de notre modèle pour la conception de service, en effet jusqu'à présent nous avons éprouvé notre modèle sur des biens matériels et produits physiques. Or, si nous prenons l'exemple du co-voiturage, nous pourrions repenser cette activité en nous centrant prioritairement sur les besoins des enfants, des personnes aveugles ou paraplégiques afin de développer de nouveaux services plus universels. Nous pourrions par exemple proposer un service dans lequel des parents laisseraient leurs enfants voyager avec des inconnus en toute confiance et sérénité ; service qui serait également attractif pour les enfants. Ce type de service impliquerait donc de concevoir des scénarios d'usage notamment autour des critères de confiance, des technologies de suivi de trajet, des moyens de communication à disposition de l'enfant, des activités de l'enfant pendant le trajet, etc. Arrêtons-nous sur le critère de confiance, pour BlablaCar, leader international du co-voiturage, la confiance est un positionnement stratégique (Lemoine, Guesmi, Dadhri, 2017) ; le profil du co-voitureur type est celui d'un homme âgé de 18 à 34 ans, actif s'il est conducteur et étudiant, chômeur ou ouvrier s'il est passager (Duchemin et Marembaud, 2015). Le manque de confiance ou la crainte de l'inconnu pourrait expliquer pourquoi les femmes ou encore les seniors sont plus réticents. Ainsi, travailler sur la confiance, permettrait de proposer des services également bénéfiques aux non usagers, y compris aux aveugles et aux personnes en situation de handicap, et permettrait ainsi d'élargir le marché du co-voiturage et d'y instaurer une dimension inclusive.

De surcroît, outre l'intérêt de valider notre modèle, l'enjeu est important, en effet le développement de services est l'un des axes de compétitivité majeur dans les années à venir, et la France possède les ressources nécessaires pour devenir leader (Nibourel, 2018).

Bibliographie

1. Allen, B. (1999). Individual differences and the conundrums of user-centered design: two experiments. *Journal of the American society for information science*, 51(6), 508–520.
2. Advisory Committee on Accessibility (ACA). (2010). *Universal Design Handbook. Building Accessible and Inclusive Environments*. Creative Services.
3. Appleyard, D. (1969). Why buildings are known: A predictive tool for architects and planners. *Environment & Behavior*, 1, 131-156.
4. Aretz, A. J., et Wickens, C. D. (1992). The mental rotation of map displays. *Human Performance*, 5, 303–328.
5. Ashraf, M. (2005). *La 3D interactive en temps réel comme aide à l'acquisition des connaissances spatiales: étude de l'influence du mode d'exploration* (Thèse de Doctorat). Université Laval, Québec.
6. Aslaksen, F., Bergh, S., Bringa, O. R., et Heggem, E. K. (1997). *Universal Design : Planning and Design for All*. Rapport, Cornell University.
7. Atkinson, R.C., Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. Dans *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Ed.) KW Spence, JT Spence, pp. 89– 195. New York: Academic.
8. Backends, C. (n.d). *Système somatique sensoriel. Somesthésie*. Repéré à <http://mon.univ-montp2.fr/claroline/backends/download.php?url=LzlwMDcvTDJfTmltZXNfX3NvbWVzdGhlc2lXzlwMDdfLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=HL4F41Fdde>
9. Bady, S. (2016). *Universal Design Goes Mainstream in Home Building. Pro Builder*. Repéré à <https://www.probuilder.com/universal-design-goes-mainstream-home-building>
10. Baddeley AD. (1986). *Working Memory*. Oxford, UK: Oxford University Press.
11. Baddeley, A.D. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of psychology*, 63. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
12. Baracat, B., et Marquie, J.C. (1994). Training the middle-aged in new computer technology: a pilot study using signal detection theory in a real-life word-processing learning situation. Dans J. Snel, R. Cremer (Eds.), *Work and Aging a European Perspective*. Taylor and Francis, London.
13. Barcenilla, J., et Tijus, C. (2002). Compréhension et évaluation de pictogrammes : effets du contexte. *Psychologie française*, 47, 1, 81-92.
14. Barcenilla, J., et Bastien, J.M.C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le Travail Humain*, 72, 377-331. doi:10.3917/th.724.0311.

15. Bastick, T. (2003). *Intuition: Evaluating the Construct and its Impact on Creative, hinking*. Stoneman and Lang, Kingston, Jamaica.
16. Critères Ergonomiques pour l'Evaluation d'Interfaces Utilisateurs (version 2.1), J.M. Christian Bastien and Dominique L. Scapin, INRIA, technical report N°156 Mai 1993.
17. Bengts, M.K. (2004). *Usability as a constituent of end-user computing satisfaction* (Thèse de Master). Jyvaskyla: University of Jyvaskyla.
18. Beylat, J-L., et Tambourin, P. (2013). *L'Innovation. Un enjeu majeur pour la France. Dynamiser la croissance des entreprises innovantes*, Ministère du Redressement Productif et Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Paris, 2013. Repéré à https://www.economie.gouv.fr/files/rapport_beylat-tambourin.pdf
19. Bill, A., et Tullis, T. (2013). *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*, Morgan Kaufmann.
20. Blackler, A. (2006). Intuitive interaction with complex artefacts. Queensland University of Technology, Brisbane (Thèse non publiée). Repéré à <http://adt.library.qut.edu.au/adt-qut/public/adt-QUT20060926.142725/>
21. Blackler, A, et Hurtienne, J. (2007). Towards a unified view of intuitive interaction: definitions, models and tools across the world. *MMI-Interktiv*, 13, 36-54.
22. Blackler, A., Popovic, V. et Mahar, D. (2002). Intuitive use of products. *Proceedings of Common Ground Design Research Society International Conference 2002*, London.
23. Blackler, A., Popovic, V. et Mahar, D. (2003a). Designing for intuitive use of products. An investigation. *Proceedings of 6th Asia Design Conference*, Tsukuba, Japan.
24. Blackler, A., Popovic, V. et Mahar, D. (2003b). The nature of intuitive use of products: An experimental approach. *Design Studies*, 24(6), 491–506.
25. Blackler, A., Popovic, V. et Mahar, D. (2004a). Intuitive interaction with complex artefacts. *Proceedings of Futureground Design Research Society International Conference*, Melbourne.
26. Blackler, A., Popovic, V. et Mahar, D. (2004b). Studies of intuitive use employing observation and concurrent protocol. *Proceedings of Design 2004 8th International Design Conference*, Dubrovnik, Croatia.
27. Blackler, A., Popovic, V. et Mahar, D. (2005). Intuitive interaction applied to interface design. *Proceedings of International Design Congress*, Douliou, Taiwan.
28. Blackler, A., Popovic, V., et Mahar, D. (2010). Investigating users' intuitive interaction with complex artefacts. *Applied Ergonomics*, 41(1), 72-92.
29. Blankenberger, S., et Hahn, K. (1991). Effects of icon design on human-computer interaction. *International Journal Man-Machine Studies*, 35, 363-377.
30. Boguslaw, M. (2000). Does a stone look the way it feels? Introducing tactile graphics, spatial relations and visual concepts to congenitally blind children. Paper presented at the European ICEVI Conference. Cracovie 9-13 Juillet 2000.
31. Boisadan, A., Moreau, P., Bougault, S., Abati, C., Dairin, F., Nelson, J., et Buisine, S. (2016). Concevoir un plan d'orientation multisensoriel. *Conférence HANDICAP 2016*.

32. Boisadan, A., Moreau, P., Nelson, J., et Buisine, S. (2016). Recommandations pour la conception de plans d'orientation accessibles aux déficients visuels. ErgoIA 2016 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée.
33. Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques*, Marseille : Solal Editeurs.
34. Bordon, E. (2004). *Interprétation des pictogrammes. Approche interactionnelle d'une sémiotique*. L'Harmattan.
35. Bornet, C, et Brangier, E. (2013). La méthode des personas : principes, intérêts et limites. *Le Bulletin de psychologie*, 66(2), 115-134.
36. Boucouvalas, M. (1997). Intuition: the concept and the experience. Dans R. Davis-Floyd, P.S. Arvidson (Eds.), *Intuition: the Inside Story Interdisciplinary Perspectives*. Routledge, New York.
37. Boumenir, Y., Georges, F., Valentin, J., Rebillard, G., et Dresp-Langley, B. (2010). Wayfinding through an unfamiliar environment. *Percept Mot Skills*, 111(3), 829-47.
38. Boumenir, Y. (2011). *Navigation spatiale en milieu urbain réel ou virtuel* (Thèse de doctorat), Université de Montpellier II Sciences et techniques, France.
39. Boumenir, Y., Verine, B., Rebillard, G., et Dresp, B. (2014). The Relative Advantage of Tactile 2D Route Representations for Navigation Without Sight through a Complex Urban Environment. *Tactile picture, Cognition, Education*. Les Doigts Qui Rêvent.
40. Bowers, K.S. (1984). On being unconsciously influenced and informed. Dans K.S. Bowers et D. Meichenbaum (Eds.). *The Unconscious Reconsidered*. John Wiley and Sons, Toronto, pp. 227-272.
41. Bowers, K.S., Regehr, G., Balthazard, C., et Parker, K. (1990). Intuition in the context of discovery. *Cognitive Psychology*, 22, 72–110.
42. Bradford, J. (2010). Designing web pages for dyslexic readers. *Dyslexia Online Magazine*. Repéré à <http://www.dyslexiaparent.com/mag35.html>
43. Brangier, E., et Barcenilla, J. (2003). *Concevoir un produit facile à utiliser*. Editions d'organisation.
44. Brangier, E., et Gronier, G. (2000). Conception d'un langage iconique pour grands handicapés moteurs aphasiques. *Handicap 2000, Nouvelles technologies : assistance technique aux handicaps moteurs et sensoriels*. Paris Porte de Versailles, 93-100, 15-16 juin, Paris : lfrath.
45. Brangier, E., et Robert, J-M. (2010). Manifeste pour l'ergonomie prospective : anticiper de futures activités humaines en vue de concevoir de nouveaux artefacts. In B. David, M. Noirhomme et A. Tricot (Eds) Proceedings of IHM 2010, International Conference Proceedings Series, New-York: ACM, 2010, 57-64.
46. Brangier, E., et Robert, J-M. (2013). L'innovation par l'ergonomie : éléments d'ergonomie prospective. *Innovacio*, 1(1), 1-19. Réédition numérique d'un chapitre déjà publié.

47. Brangier, E., et Robert, J-M. (2014). L'ergonomie prospective : fondements et enjeux. *Le Travail Humain*, 77(1), 1-20.
48. Brangier, E., et Robert, J-M. (2015). L'innovation par l'ergonomie: Eléments d'ergonomie prospective. *Innovation: la revue pluridisciplinaire en innovation*. Repéré à <http://innovacs-innovatio.upmf-grenoble.fr/index.php?id=234>
49. Bris, M. (n.d). *Modules TOUCHER : repères. Procédures d'exploration manuelle et propriétés des objets*.
50. Bris, M. (2004). *Cours Dessin en Relief. Recommandations pour la transcription de documents*.
51. British Dyslexia Association, 2009 BDA - British Dyslexia Association. (2009). *Good practice guidelines for supporting employees with dyslexia in the workplace*. Repéré à <http://www.northantspolfed.org.uk/docs/BDA%20Code%20of%20Practice%204th%20Ed.pdf>
52. Broadbent, D.E. (1958). *Perception and Communication*. Pergamon Press.
53. Broadbent, D.E. (1970). Stimuli set and response set. Two kinds of selective attention. Dans *Attention: Contemporary theory and Analysis* (Mostoowsky, ed.), Appleton Century Crofts, New York.
54. Brock, A. (2013). *Interactive Maps for Visually Impaired People: Design, Usability and Spatial Cognition* (Thèse de doctorat). Université de Toulouse, Toulouse.
55. Brock, A., Brulé, E., Oriola, B., Truillet, P., Gentes, A. et al. (2016). A method story about brainstorming with visually impaired people for designing an accessible route calculation system. *CHI 2016 Workshop on Sharing Methods for Involving People with Impairments in Design*. ACM Press.
56. Brock, A., Truillet, P., Oriola, B., Picard, D., et Jouffrais, C. (2015). Interactivity Improves usability of Geographic maps for Visually Impaired People. *Human-Computer Interaction*, 30(2), 156-194.
57. Brock, A., Vinot, J.L., Oriola, B., Kammoun, S., Truillet, P., et Jouffrais, C. (2010). Méthodes et outils de conception participative avec des utilisateurs non-voyants. *IHM'2010*, Luxembourg, Luxembourg, 65-72,
58. Buisine, S. (2016). *Les Stratégies d'innovation*. Repéré à <http://stephanie.buisine.free.fr/publis/StratInnov16.pdf>
59. Buisine, S. (2013). *Ergonomie pour l'innovation* (Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches en Ergonomie). Université Paris Descartes, Paris.
60. Buisine, S., Boisadan, A., Richir, S. (2017). L'innovation radicale par la méthode de l'utilisateur extraordinaire. *Psychologie du Travail et des Organisations*.
61. Buisine, S., Plos, O., Aoussat, A. (2011a). La conception universelle, inclusive (fiche pratique). *Déployer l'innovation*, Paris : Techniques de l'Ingénieur.
62. Buisine, S., Plos, O., et Aoussat, A. (2011b). Innovons pour les personnes en situation de handicap. *Déployer l'innovation*, Paris : Techniques de l'Ingénieur.
63. Bruyer R. (2000) *Le cerveau qui voit*. Paris : Odile Jacob.

64. Brock, A., Vinot, J.L., Oriola, B., Kammoun, S., Truillet, P., et Jouffrais, C. (2010). Méthodes et outils de conception participative avec des utilisateurs non-voyants. *IHM'2010*, Luxembourg, Luxembourg, 65-72.
65. Carpman, J. et Grant, M. (1993). *Design That Cares: Planning Health Facilities for Patients and Visitors* (2nd Ed.), American Hospital Publishing Inc.
66. Cattaneo, Z. (2013). *Blind Vision : The mental representation of space in visual impairment*. Repéré à <http://www.abfmit2013.com/wp-content/uploads/2014/01/Cattaneo.pdf?e36f28>
67. Cattaneo, Z., et Vecchi, T. (2011). *Blind Vision – The Neuroscience of Visual Impairment*. Massachusetts : MIT Press.
68. CERTU. (2013). « Handicaps mentaux, cognitifs et psychiques. Quelles pistes pour améliorer l'accessibilité ? », Handicaps et usages, Fiche n°1.
69. Cirstea, M.C., et Levin, M.F. (2000). Compensatory strategies for reaching in stroke. *Brain*,123(5), 940–953.
70. Chesbrough, H. (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, HBS Press.
71. Chesbrough, H. (2006). *Open Innovation : Researching A New Paradigm*. Oxford University Press.
72. Christensen, C. (1997). *The innovator's dilemma*. Boston: Harvard Business Review Press [first edition–2016 last edition].
73. Clarkson, P.J., Coleman, R., Keates, S., et Lebbon, C. (2003). *Inclusive Design. Design for the Whole Population*. Springer-Verlag London.
74. Clouclelis, H., Golledge, R.G., Gale, N., et Tobler, W. (1987). Exploring the Anchor-point hypothesis of spatial cognition. *Journal of Environment Psychology*, 7(2), 99-122.
75. Cohendet, P., Diani, M., et Lerch, C. (2005). Stratégie modulaire dans la conception. Une interprétation en termes de communautés. *Revue Française des gestions*, (158), 121-143.
76. Coleman, R., Lebbon, C., Clarkson, J., et Keates, S. (2003). Introduction : from margins to mainstream. Dans R. Coleman, C. Lebbon, J. Clarkson, et S. Keates (dir.), *Inclusive Design : Design for the Whole Population* (p.1-25). London : Springer.
77. Collins, B.L., et Lerner, N.N. (1982). Assessment of fire-safety symbols. *Human Factors*, 24(1), 75-84.
78. Connell, B., Jones, M., Mace, R., Mueller, J., Mullick, A., Ostroff, E., Sanford, J., Steinfeld, E., Story, M., et Vanderheiden, G. (1997). *The principles of universal design: Version 2.0*. Raleigh, NC: The Center for Universal Design.
79. Conradie, P., De Couvreur, L., Saldien, J., et De Marez, L. (2014). Disabled persons as lead users in product innovation: a literature overview. Dans M. Laakso et K. Ekman (Eds.), *Proceedings of the 10th biannual NordDesign conference*, Espoo, Finland, 284–293).

80. Conte, M. (2004). La conception pour tous: une approche encore écartée en France. Dans *Proceedings of 17èmes Entretiens de l'Institut Garches*, Nanterre.
81. Cooper, A. (1999). *The Inmates Are Running the Asylum: Why High Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity*. Sams.
82. Cooper, A. et Reimann, R. (2003). *About Face 2.0: The Essentials of Interaction Design*, Wiley.
83. Cornoldi, C., et Vecchi, T. (2000). Cécité précoce et images mentales spatiales. Dans Y. Hatwell, A. Streri, et É. Gentaz (dir.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (p. 175-186). Paris : Presses Universitaires de France.
84. Corvest, H. et Bris, M. (2009). Braille 1809-2009. L'écriture à 6 points et son avenir. Repéré à [http://www.avh.asso.fr/rubriques/infos_braille/actes/11-2%20Michel%20BRIS%20-%20Hoelle%20CORVEST%20\(fra\).html](http://www.avh.asso.fr/rubriques/infos_braille/actes/11-2%20Michel%20BRIS%20-%20Hoelle%20CORVEST%20(fra).html)
85. Costes, E., Bassereau, JF., Rodi, O., et Aoussat, A. (n.d). *Graphic design for blind users : an industrial case study*.
86. Criton, P., et Genevois, H. (n.d). *Ecouter Autrement. Dispositifs d'écoute par le toucher*. Repéré à <http://docplayer.fr/14517759-Ecouter-autrement-dispositifs-d'ecoute-par-le-toucher.html>
87. Croisile, B. (2009). Approche neurocognitive de la mémoire. *Gérontologie et société*, 32 / 130(3), 11-29. doi:10.3917/g.s.130.0011.
88. Darken, R.P., et Peterson, B. (2002). *Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation. Handbook of Virtual Environment Technology*. Stanney, K. Ed.
89. Darras, B. (1998). L'image, une vue de l'esprit. Etude comparée de la pensée figurative et de la pensée visuelle. *Recherches en Communication*, 9, 77-99.
90. Davies, M., et Buisine, S. (2017). La culture d'innovation dans les organisations françaises. *Technologie et Innovation*, 4, 1-12.
91. Deci, E.L., et Ryan, R.M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11, 227-268.
92. Diefenbach, S., et Ullrich, D. (2015). An Experience Perspective on Intuitive Interaction : Central Components and the Special Effect of Domain Transfer Distance. *Interacting with computers*, 27(3), 210-234.
93. Donati, G. (2007). Coût efficacité du traitement par thérapie photodynamique à la vertéporfine des membranes néovasculaires dans la dégénérescence maculaire liée à l'âge en pratique clinique en Suisse. Communication de la SFO. *J Fr Ophtalmologie*, 30(8), 837-841.
94. Drag, L.L., et Bieliauskas, L. A. (2009). Contemporary Review 2009 : Cognitive Aging. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 23(2), 75-93. doi : 10.1177/0891988709358590
95. Dreyfus, H.L., Dreyfus, S.E., et Athanasiou, T. (1986). *Mind over machine: the power of human intuition and expertise in the era of the computer*, Free Press, New York.

96. Duchemin, B., et Marembaud, O. (2015). *Révolutions numériques et évolution des mobilités individuelles et collectives*. Conseil Economique Social et Environnemental, Paris, France : Editions des Journaux Officiels, 189p.
97. Dufier, J.L. (1996). Les cécités et déficiences visuelles à la naissance et dans l'enfance. *Réadaptation*, 428, 15-17.
98. Enghels, R. (2005). *Les modalités de la perception visuelle et auditive. Différences conceptuelles et répercurssions sémantico-syntaxiques en espagnol et en français* (Thèse de Doctorat). Université de Gant.
99. Eriksson, Y. (1998). *Images tactiles : représentations picturales pour les aveugles 1784-1940*. Talant : Editions Les Doigts Qui Rêvent.
100. ETSI - European Telecommunications Standards Institute. (2002). Human factors (HF); Guidelines on the multimodality of icons, symbols and pictograms (ETSI EG 202 048). Sophia Antipolis, France.
101. Eysenck, H.J. (1995) *Genius the Natural History of Creativity*. Cambridge University Press, Cambridge.
102. Fearnley, N., Flügel, S., et Ramjerdi, F. (2011). Passengers' valuations of universal design measures in public transport. *Research in Transportation Business & Management*, 2, 83-91.
103. Février, F. (2011). *Vers un modèle intégrateur « expérience-acceptation » : rôle des affects et de caractéristiques personnelles et contextuelles dans la détermination des intentions d'usage d'un environnement numérique de travail* (Thèse de Doctorat). Université de Rennes.
104. Floch, J.M. (1997). *Identités visuelles*. Paris : PUF.
105. Fogg, B.J. (2003). *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*. San Francisco, CA.
106. Fontanille J. (2000). Le langage des signes et des images : pictogrammes, idéogrammes, signalétique et publicité : Le pouvoir créateur des signes ». Dans *Qu'est-ce que l'humain ? Université de tous les savoirs- T II*, Odile Jacob (éd), 108-118.
107. Fougeyrollas, P. et al. (1999). *Classification québécoise - Processus de Production du Handicap (PPH)*. RIPPH/SCCIDIH.
108. Franke, N., von Hippel, E., et Schreier, M. (2006). Finding Commercially Attractive User Innovations: A Test of Lead-User Theory. *Journal of Product Innovation Management*, 23(4), 301-315
109. Garel, G., et Mock, E. (2016). *La fabrique de l'innovation* (2^e éd.). Paris : Dunod.
110. Gelb, I.J. (1973). *Pour une théorie de l'écriture*. Paris : Flammarion
111. Gentaz, E. (2003). Caractéristiques générales de l'organisation anatomo-fonctionnelle de la perception cutanée et haptique. Dans Y. Hatwell, A. Streri, & E. Gentaz (dir.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (p. 19-34). Paris : Presses Universitaires de France.

- 112.** Gentaz, E., et Hatwell, Y. (2003). Le traitement haptique de propriétés spatiales et matérielles des objets. Dans Y. Hatwell, A. Streri, et E. Gentaz (dir.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (p. 129-162). Paris : Presses Universitaires de France.
- 113.** Gibson, J. J. (1977). The Theory of Affordances. Dans R. Shaw et J. Bransford (Ed.), *Perceiving, Acting, and Knowing* (pp. 67-82). Lawrence Erlbaum
- 114.** Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin.
- 115.** Gillot, D. (1998). *Le Droit des sourds : 115 propositions : rapport au Premier ministre*. Repéré à <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/984001595/index.shtml>
- 116.** Girard, E. (2004). *Usage de la cognition spatiale pour localiser les lieux d'activité lors d'une enquête origine – destination* (Mémoire de maîtrise en sciences géographiques). Université Laval, Québec.
- 117.** Goffman, E. (1975). *Stigmate : Le usages sociaux des handicaps*. Les Editions de Minuit.
- 118.** Golledge, R. (1999). *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. Baltimore: John Hopkins Université.
- 119.** Golledge, R. G., Klatzky, R. L., et Loomis, J. M. (1996). Cognitive mapping and wayfinding by adults without vision. Dans J. Portugali (Éd.), *The Construction of Cognitive Maps* (pp. 215-246). Dordrecht: The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- 120.** Guellec, D. (2015). Innovations de rupture : définitions, position de la France, politiques publiques. France Stratégies, 16 novembre 2015. Repéré à http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/innovations_de_rupture_guellec_nov_2015.pdf
- 121.** Gual, J., Puyuelo, M., et Lloveras, J. (2011). Universal design and visual impairment: tactile products for heritage access. *ICED 2011*, 15-18 août, Technical University of Denmark,
- 122.** Guillemot, G., Buisine, S., De Cagny, A., Davies, M., Humblot, B., et Muller-Segard, L. (2016). *Les innovations créatrices d'emplois industriels*. Paris: GIM
- 123.** Hamonet, C. (2010). *Les personnes en situations de handicap*, Presses Universitaires de France, Collection Que Sais-je ? 128 p.
- 124.** Harold, J. (2000). Empathy with fictions. *British Journal of Aesthetics*, 40, 3, p. 340-356.
- 125.** Hatwell, Y. (2003). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Paris : DUNOD.
- 126.** Hatwell, Y., et Martinez-Sarrochi, F. (2003). La lecture tactile des cartes et dessins, et l'accès des aveugles aux œuvres d'art. Dans Y. Hatwell, A. Streri, et E. Gentaz (dir.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (p. 267-286). Paris : Presses Universitaires de France.
- 127.** Hatwell, Y., Streri, A., et Gentaz, E. (2003). *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Paris : Presses Universitaires de France.

- 128.** Heller, M. A. (1989). Picture and pattern perception in the sighted and the blind: the advantage of the late blind. *Perception*, 18, 379-389.
- 129.** Hendricks, N., Slegers, K., et Duysburgh, P. (2015). Codesign with people living with cognitive or sensory impairments : A case for method stories and uniqueness. *CoDesign*, 11, 70-82.
- 130.** Hendry, S., et Hsiao, S. (2008). Somatosensory system. Dans L. R. Squire, F. E. Bloom, N. C. Spitzer, S. du Lac, A. Ghosh, et D. Berg, *Fundamental Neuroscience* (3^e éd., pp. 581-608). USA : Elsevier.
- 131.** Hirtle, S., et Sorrows, M. (2006). *Applied Spatial Cognition : From Research to Cognitive Technology, Chapter Navigation in Electronics Environments*. Psychology press.
- 132.** Howard, J.H., Howard, D.V. (1997). Learning and memory. In: Fisk, A.D., Rogers, W.A. (Eds.), *Handbook of Human Factors and the Older Adult*. Academic Press, San Diego, pp. 7–26.
- 133.** Howe, J. (2006). The Rise of Crowdsourcing. *Wired*. Repéré à : <https://www.wired.com/2006/06/crowds/>
- 134.** Inpes. (2012). *Stigmatisation : quel impact sur la santé. La santé de l'homme*, 419.
- 135.** Isaacson, W. (2011). *Steve Jobs*. Paris: JC Lattès.
- 136.** ISO-13407. (1999). Human-centred design processes for interactive systems. Genève: International Organization for Standardization.
- 137.** ISO 7001. (2007). Symboles graphiques. Symboles destinés à l'information du public.
- 138.** ISO 9241-11. (1998). Exigences ergonomiques pour travail de bureau avec terminaux à écrans de visualisation (TEV)—Partie 11 : Lignes directrices relatives à l'utilisabilité.
- 139.** ISO-9241-210. (2010). Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. In *Ergonomie de l'interaction homme-système*. Genève: International Organization for Standardization.
- 140.** Jansson, G., et Monaci, L. (2003). Exploring tactile Maps with One or Two Fingers. *The Cartographic Journal*, 40(3) 269-271.
- 141.** Jaouili, F. (2016). Apprendre à construire des personas. Support de cours. Repéré à : http://www.weloveusers.com/documents/methodes/personas/weloveusers_-_apprendre-construire-personas-V1.6.pdf
- 142.** Jaruzelski, B., Staack, V., et Goehle, B. (2014). Proven paths to innovation success. *Strategy Business*, 77, 2-16.
- 143.** Jehoel, S. (2008). *A series of psychological studies on the design of tactile maps* (Thèse de Doctorat). Université de Surrey, Guildford, UK.
- 144.** Kawauchi, Y. (2010). *Universal Design: A Reconsideration of Barrier Free*. Institute for Human Centered Design.

- 145.** Keates, S., et Clarkson, J. (2003). Countering design exclusion: bridging the gap between usability and accessibility. *Universal Access in the Information Society*, 2(3), 215-225.
- 146.** Keates, S., et Clarkson, J. (2004). *Countering design exclusion: an introduction to inclusive design*. London, Springer.
- 147.** Kennedy, J. M., Gabias, P., et Heller, M. A. (1992). Space, haptics and the blind. *Geoforum*, 23(2), 175-189.
- 148.** Kim, H. (2015). Acceptability Engineering : the Study of user Acceptance of Innovative Technologies. *Journal of Applied Research and Technology*, 12 (2), p. 230-237.
- 149.** Kitchin, R. M., Blades, M., et Golledge, R. G. (1997). Understanding spacial concepts at the geographic scale without the use of vision. *Progress in Human Geography*, 21(2), 225-242.
- 150.** Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Lederman, S. J., Wake, H., et Fujita, N. (1993). Haptic identification of objects and their depictions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 54, 170-178. doi:10.3758/BF03211752
- 151.** Klatzky, R.L., et Lederman, S.J. (1991). Toward a computational model of constraint-driven exploration and haptic object identification. *Perception*, 22, 597-621.
- 152.** Klatzky, R.L., Susan, J., et Lederman, S.J. (2000). L'identification haptique des objets significatifs. Dans Y. Hatwell, A. Streri, et É. Gentaz (dir.), *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (p. 109-128). Paris : Presses Universitaires de France.
- 153.** Klein, G. (1993). A Recognition-primed Decision (RPD) model of rapid décision making. Dans G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, et C.E. Zsombok (Eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*. Ablex, Norwood, NJ, pp. 138–147.
- 154.** Klippel, A., Hirtle, S. et Davies, C. (2010). Running head: You-Are-Here Maps Creating spatial awareness through map-like representations. *Spatial cognition and computation*, 10(2-3), pp.83–93.
- 155.** Kok, A., Lorist, M.M., Cremer, R., et Snel, J. (1994). Age-related differences in mental work capacity: effects of task complexity and stressors on performance. In: Snel, J., Cremer, R. (Eds.), *Work and Aging: a European Perspective*. Taylor and Francis, London, pp. 139–161.
- 156.** Krygier, J. et Wood, D.(2004). *Making Maps: A Visual Guide to Map Design for GIS*. Guildford Press.
- 157.** Langdon, P., Lewis, T.,et Clarkson, J. (2007). The effects of prior experience on the use of consumer products. *Universal Access in the Information Society*, 6 (2), 179–191.
- 158.** Lebrun, N., et Berthelot, S. (1991). *Design de systèmes d'enseignement*. Montréal : Éditions Agence D'Arc.
- 159.** Lederman, S.J., et Klatzky R.L. (1987). Hand movements : A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 54, 238-368. doi :10.1016/0010-0285(87)90008-9

- 160.** Lederman, S.J., et Klatzky R.L. (1993). Extracting object properties through haptic exploration. *Acta Psychologica*, 84, 29-40. doi:10.1016/0001-6918(93)90070-8
- 161.** Lefèvre-Ballaydier, A., Gentaz, E., et Spicher, C. (2008). Le Toucher. *La Recherche, Bac to Basic*, 418, 75-78. Repéré à <http://www.larecherche.fr/idees/back-to-basic/toucher-01-04-2008-87597>.
- 162.** Lemoine, L., Guesmi, S., et Hadhri, W. (2017). La construction de la confiance sur une plateforme de l'économie collaborative. Une étude qualitative des critères de choix d'un covoitureur sur BlaBlaCar. *Question(s) de management*, 4(19), 77-89.
- 163.** Lehto, M.R. (1992). Designing warning signs and warning labels : part II – scientific basis for initial guidelines. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, 115-138.
- 164.** Levine, M. (1982). You-are-here maps. *Environment and Behavior*, 14(2), 221.
- 165.** Lewis, T., Langdon, P.M., et Clarkson, P.J. (2008). Prior experience of domestic microwave cooker interfaces: a user study. *Designing Inclusive Futures*. Springer.
- 166.** Lin, F.S., Chang, M-C., et Liu, X-F. (2015). Arning pictograms : can preschoolchildren recognize them ? *Bulletin of japanese society for the Science of Design*, 61(5), 87-96.
- 167.** Lin, K., et Wu, C. (2015). Practicing universal design to actual hand tool design process. *Applied Ergonomics*, 50, 8-18.
- 168.** Lind, C. (2017). *Assessment and design of industrial manual Handling to reduce physical ergonomics hazards – use and development of assessment Tools* (Thèse de Doctorat). KTH Royal Institute of Technology.
- 169.** Lobbe, J., Bazzaro, F., et Sagot, J.C. (2016). Handicap et conception de produits : apports potentiels des lieux de co-création. *Confere16*.
- 170.** Loewy, R. (1990). *La laideur se vend mal*. Gallimard.
- 171.** Lorenz, A., Thierbach, C., Baur, N., et Kolbe, T. (2013). App-Free Zone: Alternatives to Mobile Devices as Indoor Navigation Aids and their Empirical Evaluation with Large User Bases in: Progress in Location Based Services. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography 2013*, pp 319-338.
- 172.** Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjman, S., et Zenasni, F. (2015). *Psychologie de la créativité* (2nd ed.), Paris, Armand Colin.
- 173.** Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. Cambridge : MIT Press.
- 174.** Mace, R. (1985). *Universal Design, Barrier Free Environments for Everyone*. Designers West, November 1985
- 175.** Mathieu, F., et Hillen, V. (2016) *Le design Thinking par la pratique. De la rencontre avec l'utilisateur à la commercialisation d'un produit innovant pour les seniors*. Paris, Eyrolles.
- 176.** McGrenere, J., et Ho, W. (2000). Affordances : Clarifying and Evolving a Concept. *Proceedings of Graphics Interface 2000*, Montreal.

- 177.** Meneghetti, C., Borella, E., Gyselinck, V., et De Beni, R. (2012). Age-differences in environment route learning : The role of input and recall-test modalities in young and older adults. *Learning and Individual Differences*, 22, 884-890.
- 178.** Midler, C., Beaume, R., et Maniak, R. (2012). *Réenchanter l'industrie par l'innovation: L'expérience des constructeurs automobiles*. Dunod.
- 179.** Millar, S. (1994). *Understanding and representing space: Theory and evidence from studies with blind and sighted children*. Oxford: Clarendon Press.
- 180.** Miller, R. B. (1971). *Human Ease of Use Criteria and Their Tradeoffs*. IBM Technical Report TR 00.2185, IBM Corporation, Poughkeepsie, NY.
- 181.** Ministère de la Culture et de la Communication. (2010). *Equipements culturels et handicap mental*. Repéré à <http://www.culture.gouv.fr/Thematiques/Developpement-culturel/Culture-et-handicap/Guides-pratiques/Equipements-culturels-et-handicap-mental-2010>
- 182.** Moliner, P. (2016). *Psychologie sociale de l'image*. Presses Universitaires de Grenoble.
- 183.** Montello, D. (2010). You are where. The function and frustration of you-are- here (YAH) maps. *Spatial cognition and computation*, 10, pp.94–104.
- 184.** Moore, G. A. (1991). *Crossing the Chasm. Marketing and Selling High-Tech Products to Mainstream Customers*. Harper Business.
- 185.** Mtopi Fotso, B.E. (2006). *Contribution à une Méthodologie de Conception Modulaire : Modélisation de la Diversité dans les Familles de Produits* (Thèse de Doctorat). Université de Franche-Comté.
- 186.** Mustaquim, M.M. (2017). A reflection on interdisciplinarity research in universal design toward sustainability. *Universal Access in the Information Society*, 16(1), 73-83 doi 10.1007/s10209-015-0425-0
- 187.** Narvaez, L.M.J. (2007). *La cognition spatiale : approches pratiques et neuroscientifiques*.
- 188.** NF ISO/TR 7239. (1990). *Elaboration et principes de mise en oeuvre des pictogrammes destinés à l'information du public*. Genève: International Organization for Standardization.
- 189.** Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Academic Press.
- 190.** Nibourel, C. (2018). *La révolution du service. Cette chance que la France doit saisir*. Paris: Tallandier.
- 191.** Noddings, N., et Shore, P.J. (1984). *Awakening the Inner Eye Intuition in Education*. Teachers College Press, Columbia University.
- 192.** Norman, D.A. (1988). *The Design of Everyday Things*. Basic Books, New-York, NY.
- 193.** Norman, D.A. (2004). *Emotional Design. Why we love (or hate) everyday things*. Basic Books, New-York, NY.

- 194.** Norman, D. A. et Draper, S. W. (Editors) (1986) *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Earlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- 195.** OECD (1997). Manuel d'Oslo (2nd edition). Paris: Editions de l'Organisation de coopération et de développement économique.
- 196.** OECD (2005). Manuel d'Oslo (3rd edition). Paris: Editions de l'Organisation de coopération et de développement économique.
- 197.** Odeck, J., Hagen, T., et Fearnley, N. (2010). Economic appraisal of universal design in transport: Experiences from Norway. *Research in Transportation Economics*, 29, pp. 304-311.
- 198.** Osborn, A.F. (1953). *Applied Imagination. Principles and procedures of creative problem-solving*. (3rd Ed). Charles Scribner's sons, New York.
- 199.** Osgood, C.E., Suci, G.C., et Tannenbaum, P.H. (1957). *The Measurement of meaning*. Urbana, IL : University of Illinois press.
- 200.** Owsley, C. (2010). Aging and vision. *Vision research*, 51(13), 1610-1622.
- 201.** Pajo, S., Verhaegen, P-A., Vandevenne, D., et Duflou, J.R. (2015). Fast Lead User Identification Framework. *Procedia Engineering*, 131, 1140-1145.
- 202.** Passini, R. (1994). *Wayfinding in Architecture*. London : Van Nostrand Reinhold.
- 203.** Péladeau, P., Romac, B., Rozen, A., & Sevin, C. (2013). *L'innovation dans les entreprises en France*. Paris : Booz & Company Inc
- 204.** Plos, O. (2011). *Innover pour et par le handicap. Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : application au marché de handicap moteur* (Thèse de Doctorat). Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- 205.** Plos, O., Buisine, S., Dupin, M., Aoussat, A., et Dumas, C. (2007). *Universal Design : Proposition d'une nouvelle approche appliquée à la conception d'une table adaptative*. Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, pp. 339-348.
- 206.** Plos, O., Buisine, S., Aoussat, A., Mantelet, F., et Dumas, C. (2012). A universalist strategy for the design of assistive technology. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 533-541.
- 207.** Preiser, W.F.E., et Ostroff, K.H. (2011). *Universal Design Handbook*. 2^e Ed. McGraw-Hill, New-York.
- 208.** Presson, C.C., et Hazelrigg, M.D., (1984). Building Spatial Representations Through Primary and Secondary Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 10, 716-722.
- 209.** Pruitt, J., et Adlin, T. (2010). *The persona life cycle: Keeping people in mind throughout product design*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- 210.** Rainger, P. (2003). A Dyslexic Perspective on e-Content Accessibility. *JISC TechDis*.
- 211.** Rasmussen, J. (1993). Deciding and doing: decision making in natural contexts. Dans G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood et C.E. Zsombok (Eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*. Ablex, Norwood, NJ, pp. 159-171.

- 212.** Raviselvam, S., Wood, K., Hôlttä-Otto, K., Tam, V., et Nagarajan, K. (2016). A Lead User Approach to Universal Design – Involving Older adults in the Design Process. *Universal Design 2016: Learning from the Past, Designing for the Future - Proceedings of the 3rd International Conference on Universal Design*, 131-140. doi:10.3233/978-1-61499-684-2-131
- 213.** Read, J.C., et Markopoulos, P. (2013). Child-computer interaction. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1, 2-6.
- 214.** Richard, F. (2002). *De mes yeux à tes mains : Etude différentielle du statut visuel* (Thèse de doctorat). Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- 215.** Richard, F., Vaz-Cerniglia, C., et Portalier, S. (2004). Evolution des procédures d'exploration haptique chez des sujets aveugles tardifs et aveugles précoces. *Revue européenne de psychologie appliquée*, 54, 227-236.
- 216.** Robert-Bobée, I. (2007). Projections de population 2005-2050. Vieillesse de la population en France métropolitaine. *Persée*, 95-112.
- 217.** Robert, J-M, et Brangier, E. (2009). What is prospective ergonomics? A reflection and position on the future of ergonomic. Dans B.-T. Karsh (Ed.), *Ergonomics and Health Aspects*, LNCS 5624, Springer Verlag. pp. 162–169.
- 218.** Robert, J-M., et Brangier, E. (2012). Prospective ergonomics: origin, goal, and prospects. *Work. A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 41, 5235-5242. doi:10.3233/WOR-2012-0012-5235.
- 219.** Rogers, E. (1995). *Diffusion of Innovations*. (4^e éd.). New York, NY: The Free Press.
- 220.** Ryder, K.J. (2015). *Designing and Publishing Indoor Maps for Patients and Visitors in an Academic Teaching Hospital* (Thèse de Master). Collège Royal de Surgeons, Dublin, Irlande.
- 221.** Roudinsky, A., et Biancussi, C. (2008). *Les dyschromatopsies*. Mémoire en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthoptiste. Université de Lyon 1. France.
- 222.** Salk, J. (1983). *Anatomy of Reality Merging of Intuition and Reason*. Columbia University Press, New York.
- 223.** Satalich, G. (1995). *Navigation and Wayfinding in Virtual Reality: finding proper Tools and Cues to Enhance Navigation Awareness* (Mémoire de maîtrise). Université de Washington. [En Ligne]. <http://www.hitl.washington.edu/publications/satalich/home.html>
- 224.** Schneider, J. (2014). *60 000 signes dans la catastrophe. Le langage visuel pour prévenir, informer et raconter* (Master Thesis). Haute Ecole d'Art et de Design.
- 225.** Schumpeter, J. A. (1939). *Business Cycles. A theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York Toronto London: McGraw-Hill Book Vompan.
- 226.** Schwartz, C. (2001). La signalétique en relief. *La Lettre de l'OCIM n°74*, 12-15.
- 227.** Scribante, V. (2000). *Impact de deux facteurs d'influence sur l'acquisition des connaissances spatiale* (Mémoire de maîtrise). Université de Genève. [En Ligne]. http://tecfa.unige.ch/staf/staf-e/vanessa/theorie_1110b.pdf.

- 228.** Shepard, R. N., et Hurwitz, S. (1984). Upward direction, mental rotation, and discrimination of left and right turns in maps. *Cognition*, *18*, 161–193.
- 229.** Segron, H. (2008). *Le Toucher en développement Perception tactile et continuité transnatale*.
- 230.** Shackel, B. (1986). Ergonomics in design for usability. Dans M.D. Harrison, et A.F. Monk. (Ed), *People and computers, Proc. Second conf. of the BCS HCI specialist group*, pp. 45–64, Cambridge, Cambridge University Press.
- 231.** Siegel, A. W. et White, S.H. (1975). *The development of spatial representations of large-scale environments*. New York : Academic Press.
- 232.** Singh, R., et Tandon, P. (2016). User values based evaluation model to assess product universality. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 46-59.
- 233.** Stary, C. (1997). The role of design and evaluation principles for users interfaces for all. *Proceeding of HCI*, 477- 480.
- 234.** Stock, W.A., Kulhavy, R.W., Peterson, S.E., Hancock, T.E., et Verdi, M.P. (1995). Mental representations of maps and verbal descriptions: Evidence they may affect text memory differently. *Contemporary Educational Psychology*, *20*, 237-259.
- 235.** Story, M., Mueller, J., et Mace, M. (1998). *Designing for People of all Ages and Abilities*. Raleigh, NC: North Carolina State University, The Center for Universal Design.
- 236.** Tatham, A. F. (1991). The design of tactile maps: theoretical and practical considerations. Dans M. Rybaczak et K. Blakemore (Eds.), *Proceedings of international cartographic association: mapping the nations* (pp. 157–166). London, UK: ICA.
- 237.** Thinus-Blanc, C., et Gaunet, F. (1997). Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? *Psychological Bulletin*, *121*(1),20-42.
- 238.** Tijus, C., Barcenilla, J., Cambon de Lavalette, B., Lambinet, L., et Lacaste, A. (2005). Conception, compréhension et usages de l'information iconique véhiculée par les pictogrammes. Dans, D. Alamargot, P. Terrier et J.M. Cellier, *Production, compréhension et usages des écrits techniques au travail*, Toujours, Octarès.
- 239.** Thomas, R. et Michel, C. (1994). Théorie du traitement de l'information. Dans *Théories du développement de l'enfant : Études comparatives* (pp. 351-385). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- 240.** Thomann, G. (2016). Méthodologies de conception de systèmes dans le médical : prise en compte des spécificités utilisateurs. Habilitation à Diriger des Recherches. Institut polytechnique de Grenoble.
- 241.** Thorndyke, P.W. (1980). Performance models for Spatial and Locational Cognition. Washington, D.C., The RAND Corporation.
- 242.** Thorndyke, P. W., et Hayes-Roth, B. (1982). Differences in Spatial Knowledge Acquired from Maps and Navigation. *Cognitive Psychology*,*14*, 560-589.
- 243.** Tobin, M.J., Greaney, J., et Hill, E. (2000). Le Braille : problèmes de structure, d'enseignement et d'évaluation. Dans Y. Hatwell, A. Streri, & E. Gentaz (dir.),

Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle (p.245-265). Paris : Presses Universitaires de France.

244. Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189-208.
245. Ulrich, R.S., Zimring, C., Zhu, X., DuBose, J., Seo, H.B., Choi, Y.S., Quan, X., et Joseph, A. (2008). A Review of the Research Literature on Evidence- Based Healthcare Design (Part I). *Health Environments. Research & Design*, 1(3).
246. Ullrich, D., et Diefenbach, S. (2010). INTUI. Exploring the Facets of Intuitive Interaction. In J. Ziegler & A. Schmidt (Eds.) *Mensch & Computer 2010* (pp.251-260). München : Oldenbourg.
247. Unapei, 2012. *Guide pratique de la signalétique et des pictogrammes*.
248. Uzan, G., M'Ballo, S., Wagstaff, P., et Dejeannes, M. (2011). SOLID : A Model of the information requirements in transport systems for sensory impaired people. Invited presentation; *18^{ème} World Congress on Intelligent Transport Systems*, Orlando, 16-18 october.
249. Vaillant P. (1997). *Interaction entre modalités sémiotiques : de l'icône à la langue* (Thèse de doctorat). Université d'Orsay.
250. Vanderheiden, G.C. (1997). Design for people with functional limitations resulting from disability, aging and circumstance. Dans G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. New York: Wiley, pp. 2010-2052.
251. Vanderheiden, G.C., et Tobias, J. (2000). Universal Design of consumer products: Current industry practice and perceptions. *XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, pp. 19-22.
252. van Laerhoven, H., van der Zaag-Loonen, H.J., et Derkx, B. H. V. (2004). A comparison of Likert scale and visual analogue scales as response options in children's questionnaires. *Acta Paediatrica*, 93(6), pp. 830-835.
253. Van Welie, M., van der Veer, G.C., et Eliëns, A. (1999). Breaking down usability. Dans A. Sasse et C. Johnson (Eds). *Proceedings of Interact '99*, Edinburgh.
254. Veytizou, J. (2014). Caractérisation des spécificités motrices d'utilisateurs en situation de handicap. Application à la conception de systèmes personnalisables pour la pratique musicale (Thèse de doctorat). Université de Grenoble, Grenoble.
255. Viberg, Å. (1984). The verbs of perception: a typological study. Dans: B. Butterworth (éd.), *Explanations for language universals*, Berlin/New York: Mouton deGruyter, pp 123-162.
256. von Hippel, E. (1988). *The Sources of Innovation*. New York: Oxford University Press.
257. von Hippel, E. (2005). *Democratizing innovation*. Cambridge: MITPress.
258. von Hippel, E., Thomke, S., et Sonnack, M. (1999). Creating break throughs at 3M. *Harvard Business Review*, 77, 47-57.
259. Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York, Harcourt, Brace.

- 260.** Waller, D., Hunt, E., et Knapp, D. (1998). *The transfer of spatial knowledge in virtual environment training*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments.
- 261.** Walter, A. (2011). *Designing for emotions. A Book Apart*. New-York, NY.
- 262.** Wickens, C.D., Gordon, S.E., et Liu, Y. (1998). *An Introduction to Human Factors Engineering*. Addison-Wesley Educational Publishers Inc, New York.
- 263.** Wijntjes, M. W. A., van Lienen, T., Verstijnen, I. M., et Kappers, A. M. L. (2008a). The influence of picture size on recognition and exploratory behaviour in raised-line drawings. *Perception*, 37, 602-614. doi:10.1068/p5714.
- 264.** Wijntjes, M. W. A., van Lienen, T., Verstijnen, I. M., et Kappers, A. M. L. (2008b). Look what I have felt: unidentified haptic line drawings are identified after sketching. *Acta psychologica*, 128, 255-263. doi:10.1016/j.actpsy.2008.01.006.
- 265.** Weiss, C.O., Hoenig, H.M., et Fried, L.P. (2007). Compensatory strategies used by older adults facing mobility disability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(9), 1217–1220.
- 266.** WHO (2001). International classification of functioning. In *Disability and health: ICF* [World Health Organization].
- 267.** Woolhouse, L.S., et Bayne, R. (2000). Personality and the use of intuition: individual differences in strategy and performance on an implicit learning task. *European Journal of Personality*, 14, 157–169.

Annexes

Annexe 1 : questionnaire INTUI simplifié

Annexe 2 : liste des publications issues de la thèse

Annexe 1

Questionnaire INTUI simplifié

1. Pour [...] :

- [Tu ne savais / Vous ne saviez] pas du tout quoi faire
- [Tu ne savais / Vous ne saviez] pas quoi faire
- Entre les deux
- [Tu savais / Vous saviez] quoi faire
- [Tu savais / Vous saviez] très bien quoi faire

2. Faire [...] c'était :

- Pas du tout facile
- Pas facile
- Entre les deux
- Facile
- Très facile

3. Faire [...] c'était :

- Très Banal
- Banal
- Entre les deux
- Bien
- Magique

4. Faire [...] c'était :

- Pas du tout amusant
- Pas amusant
- Entre les deux
- Amusant
- Très amusant

5. Faire ce calcul sur la feuille c'était :

- Pas du tout intuitif
 - Pas intuitif
 - Entre les deux
 - Intuitif
 - Très intuitif
-

Annexe 2

Article de revue

Boisadan, A., Buisine, S., Moreau, P., et Boumenir, Y. (soumis). Designing universal visuotactile pictograms. *International Journal of Industrial Ergonomics*.

Buisine, S., **Boisadan, A.**, Richir, S. (2017). L'innovation radicale par la méthode de l'utilisateur extraordinaire. *Psychologie du Travail et des Organisations*.

Conférences

Boisadan, A., Moreau, P., Nelson, J., Buisine, S. (2016). Recommandations pour la conception de plans d'orientation accessibles aux déficients visuels. ErgoIA 2016 Colloque francophone sur l'Ergonomie et l'Informatique Avancée.

Boisadan, A., Moreau, P., Bougault, S., Abati, C., Dairin, F., Nelson, J., Buisine, S. (2016). Concevoir un plan d'orientation multisensoriel. Conférence HANDICAP 2016.

Boisadan, A., Buisine, S., Moreau, P. (2016). Démarche de conception de produits intuitifs (conférence longue), FLUPA UX-Day.

Livre Blanc

Boisadan, A., Moreau, P, et Buisine, S. (2018). *Livre blanc. Concevoir des plans d'orientation pour tous*. Paris : Tactile Studio.