HAL
open science

Modèle de processus pour la conception de produits d'assistance aux personnes en situation de handicap : cas d'étude sur la mobilité personnelle

Marcel de Gois Pinto

To cite this version:

Marcel de Gois Pinto. Modèle de processus pour la conception de produits d'assistance aux personnes en situation de handicap : cas d'étude sur la mobilité personnelle. Autre. Université Grenoble Alpes, 2016. Français. NNT : 2016GREAI073 . tel-01688572

HAL Id: tel-01688572

https://theses.hal.science/tel-01688572

Submitted on 19 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Communauté UNIVERSITÉ Grenoble Alpes

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE LA COMMUNAUTE UNIVERSITE GRENOBLE ALPES

Spécialité : **Génie Industriel**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

« Marcel de GOIS PINTO »

Thèse dirigée par **« François VILLENEUVE »** et
Co-dirigée par **« Guillaume THOMANN »**

préparée au sein du **Laboratoire G-SCOP**
dans l'**École Doctorale I-MEP2**

Modèle de processus pour la conception de produits d'assistance aux personnes en situation de handicap : cas d'étude sur la mobilité personnelle

Thèse soutenue publiquement le **« 16 décembre 2016 »**,
devant le jury composé de :

Mme. Stéphanie BUISINE
Professeur à l'EI.CESI de Nanterre (Rapporteur)
Mme. Julie LE CARDINAL
Professeur des Universités à Ecole Centrale Paris (Rapporteur)
M. Yann ECHINARD
Maître de Conférences Sciences Po Grenoble (Examinateur)
M. Wilson KINDLEIN Jr.
Professeur Titulaire à l'UFRGS (Examinateur)
M. Lionel ROUCOULES
Professeur des Universités à l'ENSAM – CER (Président du Jury)
M. Guillaume THOMANN
Maître de Conférences, HDR, Grenoble INP (Co-Directeur de thèse)
M. François VILLENEUVE
Professeur des Universités à l'UGA, (Directeur de thèse)

REMERCIEMENTS

Je souhaite adresser un remerciement reconnaissant à M. Lionel Roucoules, Professeur des Universités à l'ENSAM – CER, d'avoir accepté le rôle de président de mon jury de thèse. Ce rôle a été mené de manière productive et légère. Je voudrais remercier Mme. Stéphanie BUISINE, Professeur à l'EI.CESI de Nanterre et Mme. Julie Le Cardinal, Professeur à Ecole Centrale Paris, pour avoir acceptées d'être rapporteurs de cette thèse. Je vous remercie de toutes vous propositions et remarques, pas toujours faciles à lire, mais bien importantes pour la maturité de mon travail et de mon regard sur la méthodologie scientifique pour les années qui m'attendent dans ce métier de chercheur que j'ai choisi. Je voudrais aussi remercier au Monsieur Yann ECHINARD, Maître de Conférences Sciences Po Grenoble pour ses importantes contributions dans mon travail de thèse non seulement comme source d'informations précieuses lors d'entretiens de recherche, mais aussi lors de son travail d'examinateur de jury. Je voudrais remercier au Monsieur Wilson KINDLEIN Jr., Professeur Titulaire à l'UFRGS (Examinateur) pour le soin et la profondeur d'analyse de mon manuscrit de manière perfectionniste, qui ont mis en valeur les qualités de mon travail.

Je tiens à remercier de manière particulièrement spéciale Guillaume Thomann, mon encadrant de thèse, qui, à travers son courage d'inviter un jeune enseignant brésilien à faire un doctorat en France, a vraiment changé le cours de ma vie. Il a cru en moi et m'a fait aller plus loin que ce dont je pensais être capable. Je souhaite remercier François Villeneuve, mon Directeur de Thèse, qui par sa sagesse personnelle a pu guider notre travail sur la bonne voie, toujours avec les bonnes questions et remarques qui m'ont fait réfléchir constamment à la pertinence de mes propositions. François a démontré aussi une approche de travail très humaine qui m'a rassuré pour travailler sur ce sujet de recherche. Il a toujours été préoccupé de mon bien-être et de celui de ma famille.

Je souhaite remercier Jean-François Boujut, coordinateur de l'équipe Conception Collaborative, pour animer ce groupe de recherche et pour le support à mon travail. Je remercie aussi mes collègues doctorants avec qui on se serre les bras et les dents et avec qui je suis allé au bout de cette aventure. Je remercie aussi les stagiaires qui ont travaillé avec moi tout au long de ces 3 années et quelques de thèse, notamment Jéremiah Autreu, Juliette Prebot, Mélanie Prugniaux, Cécile Lim, Rémi Colin, Maxime Le Rudulier et Skander Mrabet. Je n'aurais pas pu le faire sans vous. Je remercie aussi Vânia Miranda, kinésithérapeute avec qui j'ai beaucoup appris sur les troubles de la marche.

Je remercie aussi le gouvernement brésilien pour le support financier de ces études doctorales, à travers le CNPq (Conseil National pour le développement scientifique et technologique).

Finalement, j'aimerais remercier mon épouse, Werna Marques, qui a accepté de vivre avec moi cette aventure en sortant du nid, de traverser l'Atlantique et de vivre une "révolution française" qui a changé notre regard sur le monde, de vivre nos rêves et de voir l'amour entre nous grandir à chaque jour. A côté de toi, chaque jour c'est de l'eau fraîche.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS **3**

LISTE DE FIGURES **7**

LISTE DE TABLEAUX **12**

INTRODUCTION **14**

1 PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE **16**

1.1 Panorama du handicap 16

1.1.1 Aspects historiques du handicap *16*

1.1.2 Les chiffres et les situations liées au handicap *17*

1.1.3 Modèles conceptuels du handicap *18*

1.1.4 Caractérisation des personnes en situation de handicap *20*

1.2 Les Produits d'Assistance (PA) 24

1.2.1 Définitions et classifications de PA *25*

1.2.2 L'acquisition et la fourniture de PA *27*

1.2.3 L'acceptation et l'abandon de PA *29*

1.2.4 Caractéristiques de l'industrie de PA *32*

1.3 Démarche de la recherche 34

1.3.1 Problématique et question de recherche *34*

1.3.2 Méthode de recherche *36*

1.4 Conclusions sur la définition de la problématique de recherche 38

2 L'ETAT DE L'ART **40**

2.1 Le processus de conception de produits 40

2.1.1 Les approches utilisées pour mener la conception de produits *41*

2.1.2 Modélisation du processus de conception de produits *44*

2.1.3 Les systèmes de fabrication et la conception de produits *52*

2.2 Approches pour la conception et LA fabrication d'une variété de produits 56

2.2.1 Le Lean Management *56*

2.2.2 La Customisation de Masse *81*

2.3 La Conception de produits et les PSH 103

2.3.1 Considération des PSH lors de la conception de produits ... *103*
2.3.2 Quelques modèles particulier pour la conception de PA ... *117*

2.4 Conclusions sur l'état de l'art ... 120

3 PROPOSITION D'UN MODELE DE REFERENCE POUR LA CONCEPTION DE PRODUITS D'ASSISTANCE (PA) ... 122

3.1 Construction du modele ... 122

3.2 Vision globale du modèle de conception ... 124

3.3 Principes de conception ... 126

3.3.1 Processus centré sur la valeur pour l'utilisateur ... *127*
3.3.2 Exploration concourante de solutions alternatives ... *131*
3.3.3 Standardisation du processus et du produit ... *135*
3.3.4 Application des principes de conception : les activités de transition ... *137*

3.4 Méthode de conception ... 140

3.4.1 Étape I : La Découverte ... *140*
3.4.2 Étape II : La Définition ... *149*
3.4.3 Étape III : Le Développement ... *157*
3.4.4 Étape IV : La Distribution ... *164*

3.5 Conclusions sur le modèle de conception de PA ... 170

4 LES CAS D'ETUDE ... 172

4.1 Les familles de PA pour la mobilité personnelle ... 172

4.2 Les Dispositifs d'aide à la marche (DAM) ... 175

4.2.1 La Découverte des Dispositifs d'Aides à la Marche (DAM) ... *175*
4.2.2 La Définition des Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM) ... *191*
4.2.3 Le Développement des Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM) ... *197*
4.2.4 La Distribution des Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM) ... *204*
4.2.5 Considérations finales sur le cas d'étude sur les DAM ... *205*

4.3 Véhicules non-motorisés (VNM) ... 206

4.3.1 La Découverte des VNM ... *206*
4.3.2 La Définition des Véhicules Non-Motorisés (VNM) ... *234*
4.3.3 Considérations finales sur le cas d'étude sur les VNM ... *249*

4.4 Conclusions sur les Cas d'étude ... 249

5 DISCUSSIONS ET CONSIDERATIONS FINALES ... 251

5.1 Discussions des resultats 251

5.2 Les Limitations de la recherche ET Propositions pour la suite 253

REFERENCES 255

RESUME 265

ABSTRACT 266

ANNEXES 267

Annexe 1 - Liste de vérification pour l'analyse des PA 267

Annexe 2 - Normes pour les Fauteuils Roulants 271

Annexe 3 - Normes pour les Cycles et ses ensembles 272

LISTE DE FIGURES

Figure 1 – Interactions entre la classification ISO 9999 et les composants de la CIF [3] 23

Figure 2 – Etapes de la méthode de recherche 36

Figure 3 – L'organisation de l'état de l'art 40

Figure 4 – Les manières d'attaquer le problème de conception et les divisions du PDP [48] 49

Figure 5 – Modèle générique pour la conception de produits 50

Figure 6 – Typologies de modèle de processus de conception [48] 51

Figure 7 – Evolutions des paradigmes de fabrication [60] 54

Figure 8 – La pensée *lean* et ses principes [64] 57

Figure 9 – Les différents approches pour la Conception *Lean* [66] 59

Figure 10 – Système *Lean* de Conception de Produits par Morgan et Liker [72] 61

Figure 11 – Stratégies d'innovation [88] 66

Figure 12 – Une vision intégrée de la valeur pour le client [90] 68

Figure 13 – Phénomènes observés par rapport à l'évolution des perspectives de la valeur client [83] .. 70

Figure 14 – Organisation traditionnelle des processus « *point-based* » [64] 72

Figure 15 – Ingénierie concourante basée sur des options alternatives. Adapté de [94] 74

Figure 16 – Les intersections entre les possibilités permettent de définir les spécifications [100] 76

Figure 17 – La sélection de la meilleure idée (a) et Le raffinement depuis une liste (b). [93], [100] 77

Figure 18 – Caractéristiques principales du management de la variété de produits [93] 78

Figure 19 – Coordination des types de standardisation dans la conception *lean*. Adaptée de [104] 79

Figure 20 – Evolution des marchés jusqu'à la customisations de masse [106] 82

Figure 21 – Une interaction entre les systèmes de customisation et de fabrication de masse [108] 82

Figure 22 – Niveaux croissants de la Customisation de Masse [120] 85

Figure 23 – Les quatre approches de la Customisation de Masse [122] 86

Figure 24 – Stratégies de Customisation de Masse [123] 87

Figure 25 – Influence du processus d'élicitation. Après [42], [113], [119], [124] 90

Figure 26 – Classes de fonctions d'un produit [139] 96

Figure 27 – Analyse d'intégration à partir de la décomposition de produits [141] 98

Figure 28 – Modularité par changement de composants vs. la modularité combinatoire [145] 101

Figure 29 – Carte routière pour la customisation de masse [138]..... 102

Figure 30 – Interdépendance des activités de conception centrée sur l'opérateur humain [153]..... 105

Figure 31 – Produits d'assistance et équipements de réhabilitation [158]..... 111

Figure 32 – La pyramide des utilisateurs et les approches de conception [158]..... 112

Figure 33 – Le cube de la Conception Inclusive [149] 113

Figure 34 – L'approche de conception à 7-niveaux 115

Figure 35 – Exclusion et alternatives pour l'inclusion des PSH. Adaptée de [168]..... 117

Figure 36 – Modèle générique pour la conception de produits 122

Figure 37 – Modèle préliminaire pour la conception de PA 123

Figure 38 – Les symboles utilisés pour la modélisation du processus de conception de PA 124

Figure 39 – Aperçu de modèle de conception pour les Produits d'Assistance (PA) 125

Figure 40 – Dynamique de la création et de la perception de la valeur..... 126

Figure 41 – Perception de la valeur : interactions et évaluation de l'offre 127

Figure 42 – Exemple de liaison entre les variables d'interaction et les dimensions de la valeur 131

Figure 43 – Proposition de valeur : la dynamique de recherche de solutions pour les PA..... 132

Figure 44 – Exploration concourante de solutions alternatives, adapté de [94] 133

Figure 45 – Proposition de valeur : l'établissement des solutions finales 136

Figure 46 – Intersection entre les groupes de produits et la standardisation de l'offre de PA..... 136

Figure 47 – Activités de transition pour l'activation des principes de conception 138

Figure 48 – Les activités de transition et l'équipe de conception 139

Figure 49 – Activités spécifiques de l'étape de Découverte 141

Figure 50 – Etape de Découverte : la détermination de fonctions 141

Figure 51 – Définition de Familles *i* et de Plateformes de PA de la Classe *i* 142

Figure 52 – Facteurs à identifier dans la caractérisation des utilisateurs 143

Figure 53 – Etape de Découverte : la Caractérisation des utilisateurs 144

Figure 54 – Etape de Découverte : l'analyse de produits connexes..... 145

Figure 55 – Création d'une structure transversale pour une plateforme de PA 146

Figure 56 – Contexte d'utilisation d'un PA par une PSH 147

Figure 57 – Etape de Découverte : l'environnement d'utilisation 148

Figure 58 – Activités spécifiques de l'étape de Définition 149

Figure 59 – Etape de Définition : la modélisation fonctionnelle 150

Figure 60 – Fonctions techniques et d'interaction : les PSH et leur PA 151

Figure 61 – Etape de Définition : ergonomie et esthétique 152

Figure 62 – Etape de Définition : alternatives de solution 153

Figure 63 – Interaction entre les différents systèmes 154

Figure 64 – Etape de Définition : architecture du produit 156

Figure 65 – Spectre de la modularité combinatoire vers la modularité arborescente 157

Figure 66 – Activités spécifiques de l'étape de Développement 158

Figure 67 – Étape de Développement : les détails des systèmes 159

Figure 68 – Décision sur les détails de composants d'un PA 159

Figure 69 – Étape de Développement : l'Implication des fournisseurs 160

Figure 70 – Niveaux hiérarchiques des systèmes 161

Figure 71 – Étape de développement : l'optimisation du produit 162

Figure 72 – Étape de Développement : documentation du produit 163

Figure 73 – Activités spécifiques de l'étape de Distribution 164

Figure 74 – Etape de Distribution : assemblage et fabrication 165

Figure 75 – Séquence de fabrication et assemblage d'un PA 166

Figure 76 – Etape de Distribution : emballage et distribution 166

Figure 77 – Le processus d'emballage et l'enrichissement de l'offre de PA 167

Figure 78 – Etape de Distribution : approche de ventes 168

Figure 79 – Etape de Distribution : surveillance après-vente 169

Figure 80 – Intersections entre les cannes et les béquilles les produits « grand public » 179

Figure 81 – Intersections entre les cadres de marche et les produits dits « grand public » 180

Figure 82 – Stabilisation d'une personne à partir de l'utilisation d'une canne [188] 182

Figure 83 – Augmentation de la base de support par l'introduction d'une aide à la marche [188]..... 183

Figure 84 – Fonctions livrées par les DAM aux PSH..... 184

Figure 85 – Exemple de décomposition pour les cannes 187

Figure 86 – Niveaux de personnalisation des DAM sélectionnés 188

Figure 87 – Types de personnalisation des DAM sélectionnés..... 189

Figure 88 – Modélisation fonctionnelle des DAM 192

Figure 89 – Structure transversale pour les DAM et ses accessoires..... 194

Figure 90 – DAM manipulés par un bras..... 195

Figure 91 – DAM manipulés par les deux bras..... 196

Figure 92 – Structure des DAM manipulés par un bras (adulte)..... 198

Figure 93 – Système de blocage des tubes pour les DAM 199

Figure 94 – Poignées pour les DAM manipulés par un bras : cannes..... 199

Figure 95 – Supports additionnels pour les DAM 199

Figure 96 – Eléments de liaison des structures des DAM..... 200

Figure 97 – Contacts avec le sol : embouts et roues pour les DAM..... 200

Figure 98 – DAM manipulés par un bras : cannes et béquilles assemblées 201

Figure 99 – DAM manipulés par les deux bras : cadres assemblés 201

Figure 100 – Prototypage virtuelle et l'améliora7tion de pièces 202

Figure 101 – Amélioration des tables pour les Tables de Marche 202

Figure 102 – Prototypes des cannes de marches 203

Figure 103 – Processus de fabrication et assemblage de DAM 204

Figure 104 – Types de FR : (a) usage temporaire, (b) usage long-terme et (c) confort [191] 208

Figure 105 – Croisement de catégories de véhicules non-motorisés [2] 210

Figure 106 – Intersection entre les sous-classes : FR et Autres Véhicules à Propulsion Humaine..... 211

Figure 107 – Classification des vertèbres de la colonne vertébrale [193]..... 213

Figure 108 – Dermatomes : les zones cutanées innervées par une racine nerveuse 214

Figure 109 – L'environnement de mobilité des PSH en FR en France [197], [198] 218

Figure 110 – Satisfaction des usagers par rapport aux items du FR [190]. 219

Figure 111 – Satisfaction des soignants par rapport aux items du FR [190]..... 220

Figure 112 – Parcours réalisé un FR entre le Laboratoire G-SCOP et la Gare de Grenoble 221

Figure 113 – Expérimentation d'un FR entre le G-SCOP et la Gare de Grenoble..... 221

Figure 114 – Tournoi de Handi-Hockey..... 223

Figure 115 – Niveaux de personnalisation trouvés dans les véhicules sélectionnés 227

Figure 116 – Types de personnalisation trouvés dans les véhicules sélectionnés 228

Figure 117 – Les environnements d'utilisation des VNM 229

Figure 118 – Structure transversale pour les VNM et ses accessoires..... 238

Figure 119 – Interaction entre les systèmes et les fonctions des VNM..... 239

Figure 120 – Alternatives de cadre pour FR : vision latérale..... 239

Figure 121 – Alternatives de cadre pour FR : vision frontale..... 240

Figure 122 – Alternatives de cadre pour les cycles..... 241

Figure 123 – Parallèle entre les cadres pour FR et pour les cycles..... 242

Figure 124 – Alternatives de liaison entre cadres de cycle et de FR..... 242

Figure 125 – Alternatives d'assise pour les FR..... 243

Figure 126 – Eléments recevant les cousins du FR (assise posée sur la structure) 244

Figure 127 – Alternatives pour les repose-pieds..... 245

Figure 128 – Alternatives pour le système de propulsion du FR 246

Figure 129 – Étude sur les emplacements et alternatives de propulsion et freinage avec leviers..... 246

Figure 130 – Alternatives pour le changement d'inclinaison et des angles de roues d'un FR 246

Figure 131 – Analyse de l'impact de décisions de conception sur la performance de VNM..... 248

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 – Classification des modèles conceptuels du handicap. Adaptée de [7], [8] 19

Tableau 2 – Les modèles conceptuels du handicap d'après [7], [8] 20

Tableau 3 – Applications de la CIF [3] 22

Tableau 4 – Aperçu de la CIF [3] 23

Tableau 5 – Composants de la CIF avec leurs chapitres classifiables 24

Tableau 6 – Classes de produits d'assistance aux personnes en situation de handicap [2] 26

Tableau 7 – Processus d'acquisition d'un produit d'assistance [19], [20] 27

Tableau 8 – Processus d'approvisionnement produit d'assistance [19], [20] 29

Tableau 9 – Facteurs prédicteurs de l'acceptation et abandon des PA. Adapté de [21] 31

Tableau 10 – Facteurs associés à l'abandon des produits d'assistance. Adapté de [22] 32

Tableau 11 – Principales décisions et analyses de chaque étape de la recherche 38

Tableau 12 – Différences entre les perspectives de la conception de produits dans la littérature [37] .. 42

Tableau 13 – Epoques de la théorie de conception de produits et quelques approches typiques [39]... 43

Tableau 14 – Caractéristiques des périodes de la conception de produits et ses approches [39] 46

Tableau 15 – Décisions prises lors de la conception d'un produit [37] 52

Tableau 16 – Comparaison des modèles de fabrication : masse, *lean* manufacturing et CM [59] 56

Tableau 17 – Types de gaspillages dans l'approche *lean* [72] 59

Tableau 18 – Comparaison des approches *Lean* pour la conception des produits [66] 61

Tableau 19 – Principes de chaque sous-système de l'approche *lean* de conception de produits [72]..... 62

Tableau 20 – Comparaison entre les visions de la Conception *Lean*. Adaptée de [74] 63

Tableau 21 – Dix types d'innovation [87] 65

Tableau 22 – Principes pour l'implémentation exploration concourante d'alternatives [99] 75

Tableau 23 – Comment éviter les extrêmes de la standardisation. Adaptée de [104] 80

Tableau 24 – Niveaux de personnalisation dans la Customisation de Masse. Adapté de [113] 88

Tableau 25 – Comparaison entre les approches sur la nature de la valeur perçue [134] 93

Tableau 26 – Types de valeur perçue par les consommateur [132] 94

Tableau 27 – Les avantages de la Customisation de Masse perçus par les clients [136] 95

Tableau 28 – Types de modularité par critère. Adaptée de [145] 100

Tableau 29 – Principes et lignes directrices de la conception universelle [156], [157] 106

Tableau 30 – Principes de l'Ingénierie de Réhabilitation [170] 109

Tableau 31 – Principes de la conception basée sur compétences [168] 116

Tableau 32 – Exploitation de la littérature lors de la construction de principes de conception de PA 121

Tableau 33 – Situations et types d'interaction des PSH avec les PA 128

Tableau 34 – Dimensions de la valeur d'un PA au regard des PSH 129

Tableau 35 – Décomposition et regroupement des PA sélectionnés 146

Tableau 36 – Quelques facteurs associés au contexte d'utilisation d'un PA par une PSH..... 147

Tableau 37 – Types de représentations sémantique [139]..... 153

Tableau 38 – Résume des étapes et ses activités spécifiques 171

Tableau 39 – Sous-classes de PA à la mobilité personnelle [2] 173

Tableau 40 – Définition des Familles de PA pour la mobilité personnelle..... 174

Tableau 41 – Activités et participations (CIF) assistés par les DAM (ISO 9999) [184], [185]..... 176

Tableau 42 – Normes pour la conception et tests des DAM..... 178

Tableau 43 – Plateformes proposés pour les DAM [2] 178

Tableau 44 – Produits d'aide à la marche sélectionnés pour l'analyse 186

Tableau 45 – Accessoires pour les aides à la marche sélectionnés pour l'analyse 186

Tableau 46 – Agencement et interfaces utilisées dans les DAM sélectionnés..... 186

Tableau 47 – Proposition d'une structure transversale pour les DAM..... 187

Tableau 48 – Définitions de la Valeur pour les VNM 191

Tableau 49 – Comparatif entre les options pour les systèmes de blocage entre tubes 198

Tableau 50 – Activités et participations facilitées par les VNM [184], [185]. 206

Tableau 51 – Les catégories de FR manuels avec ses définitions [2] 208

Tableau 52 – Les catégories d'Accessoires de FR manuels avec ses définitions [2] 209

Tableau 53 – Les catégories de cycles avec ses définitions [2] 209

Tableau 54 – Les catégories d'Autres Véhicules à Propulsion Humaine avec ses définitions [2]..... 210

Tableau 55 – Variables de constructions des cycles et de ses catégories 211

Tableau 56 – Relation entre les Accessoires et les catégories de VNM 212

Tableau 57 – Échelle de déficience de l'ASIA [195], [198]..... 215

Tableau 58 – Niveaux de blessure de la moelle épinière [197]..... 216

Tableau 59 – Type d' institution de résidence pour les utilisateurs de fauteuils roulants [200], [201] . 217

Tableau 60 – Résultats de la mise en situation en FR en ville 222

Tableau 61 – Véhicules non-motorisés et ses accessoires présents sur le marché 225

Tableau 62 – Structure transversale pour les véhicules non-motorisés 226

Tableau 63 – Accessibilité des Etablissement Recevant du Public (ERP) à Grenoble [204] 230

Tableau 64 – Définitions de la Valeur pour les VNM 234

Tableau 65 – Fonctions de transformation et additionnelles des VNM..... 236

Tableau 66 – Fonctions ergonomiques des VNM 237

Tableau 67 – Fonctions esthétiques des VNM..... 237

Tableau 68 – Analyse des cas d'étude : les contributions au modèle de conception de PA 250

Tableau 69 – Normes pour les Fauteuils Roulants 271

Tableau 70 – Normes pour les Cycles et ses ensembles 272

INTRODUCTION

Le travail doctoral présenté se concentre sur un sujet de société important, délicat et mondial. Il s'agit du handicap et plus précisément de l'inclusion sociale de toute personne dans des domaines d'activités variées. Les Personnes en Situation de Handicap (PSH), physique ou mental, ont toujours vécu dans nos sociétés, mais le sujet de l'inclusion sociale est plus récent. Le sens de l'éthique et plus de justice vis-à-vis de ce sujet peuvent expliquer ces évolutions. Nous pouvons également évoquer le vieillissement de la population mondiale comme un des facteurs de prise de conscience, où chaque personne se rend compte de la perte progressive de ses capacités et s'identifie aux PSH. En outre, la proximité avec une PSH, ou même se retrouver en situation de handicap, temporaire ou permanent, va provoquer une plus grande sensibilité à ce sujet.

L'inclusion sociale peut être facilitée par des initiatives liées à l'Accessibilité des espaces et des informations et aussi par l'intermédiaire d'offres de Produits d'Assistance (PA) permettant de soulager et de compenser les difficultés dues aux situations de handicap. Nous intéressant aux relations entre les PSH et les propositions de PA, notre travail se place dans ce second champ. Dans ce contexte, nous nous concentrons sur les problèmes d'insatisfactions voire d'abandons de ces produits dans un marché où les utilisateurs sont très hétérogènes et les fabricants ont une difficulté d'offrir une variété de produits ciblant les besoins et les caractéristiques des utilisateurs avec des prix abordables.

Nous proposons que la recherche d'une solution à cette problématique soit abordée dès la conception des PA, où les concepteurs doivent accorder les besoins des PSH et les exigences des fabricants des PA, notamment les contraintes des systèmes de fabrication. De cette manière, nous proposons un modèle de référence pour la conception pour les PA pour les PSH, qui organise le processus de conception en fournissant un consensus sur la philosophie de déroulement de la méthode de conception. Nous détaillerons cette méthode de conception organisée en étapes et comportant ses activités spécifiques de conception.

Le modèle de référence pour le processus de conception de PA a été construit à partir de recherches bibliographiques sur les processus de conception de produits, en général. Dans ce cadre, nous avons étudié les approches utilisées pour la conception, les façons de modéliser ce processus et la relation entre la conception et la fabrication de produits. A partir de cela, nous avons sélectionné des indications pour l'élaboration d'un modèle de conception et pour la proposition des recommandations pour la conception dans un contexte de fabrication qui visent la variété de produits. C'est pour cela que nous nous sommes largement inspirés des contextes du *Lean* et de la Customisation de Masse. Finalement, nous avons aussi analysé quelques approches et modèles de conception de produits qui intègrent les PSH dans le public consommateur. Ainsi, nous avons analysé les approches qui visent à concevoir directement pour les PSH (approches dites spécialisées) et celles qui cherchent à rendre les produits plus amicaux à l'utilisation pour tous (approches universalistes).

Suite à son développement, le modèle de conception a été testé et amélioré lors de deux cas d'étude réalisés dans le cadre de la Mobilité Personnelle. Le premier cas d'étude s'est concentré sur la conception de **Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM)**, tels que les cannes, les béquilles et les cadres de marche. Le deuxième ca d'étude s'est concentré sur la conception de **Véhicules non-motorisés (VNM)**, comme les cycles et les fauteuils roulants.

Ces activités de recherche ont été réalisées à Grenoble (France) dans le Laboratoire G-SCOP (Sciences pour la conception, l'Optimisation et la Production). En outre, nous devons noter aussi la collaboration des écoles d'ingénierie de l'Institut polytechnique de Grenoble, spécialement à travers la participation d'élèves-ingénieurs ayant participé aux cas d'étude. Enfin, il convient aussi de souligner l'utilisation des installations de la plateforme GI-Nova de l'Atelier Inter-Etablissement de Productique Dauphiné-Savoie (AIP Primeca DS). Il s'agit d'une plateforme technologique qui nous a permis de fabriquer les prototypes de PA réalisés tout au long des expérimentations.

La thèse est organisée en cinq chapitres. Le Chapitre 1 se concentre sur l'identification de la problématique de recherche et l'élaboration des questions et des hypothèses de recherche. Le Chapitre 2 présente l'état de l'art étudié, regroupant les différents axes de la littérature de recherche nécessaires à la compréhension de notions théoriques à mobiliser. Le Chapitre 3 dévoile notre proposition d'un modèle de conception de PA dans tous ses détails. Dans le Chapitre 4, nous présentons les deux cas d'étude réalisés en lien étroits avec les éléments définissant notre modèle de conception. Finalement, le Chapitre 5 contient les discussions sur les résultats et les considérations finales du travail.

1 PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

Le premier chapitre de cette thèse a pour objectif d'esquisser le contexte du travail de recherche réalisé dans le cadre de la conception de Produits d'Assistance (PA) aux Personnes en Situation de Handicap (PSH). Le chapitre est organisé en trois parties. Dans la première partie, un panorama du handicap sera présenté, notamment concentré sur les PSH. Dans la deuxième partie, une discussion sur les PA et l'accès à ce type de produit seront présentés. Finalement, le chapitre finira par la présentation de la démarche de recherche, autrement dit, la méthode de travail.

1.1 PANORAMA DU HANDICAP

Cette section présente un panorama du handicap, notamment quelques aspects historiques et les chiffres relatifs à la situation de handicap, aussi bien que les modèles conceptuels du handicap avec les systèmes de caractérisation de la personne. Cela a pour finalité la présentation des particularités de la vie quotidienne vécues par les PSH et leurs besoins de produits spéciaux pour leur assistance.

1.1.1 Aspects historiques du handicap

Les personnes ayant des problèmes d'infirmité ou déficiences ont toujours vécu dans les sociétés. A chaque époque et dans chaque société, la vision sur les « personnes différentes » change. Ainsi il est possible de déterminer une évolution du regard et des concepts sur ces personnes. Dans l'histoire, dès la Grèce Antique jusqu'à la Renaissance les personnes malades avaient un rôle méta-social. Dans ce scénario, un nouveau-né handicapé était considéré comme un maudit ou comme un signe d'une famille mal-aimée des dieux. Dans la culture hébraïque une interprétation similaire peut être trouvée puisque le handicap était vu comme un signe d'impureté, même si la recommandation était de traiter ces gens avec respect et charité. A l'âge médiéval, nous trouvons deux regards différents par rapport aux personnes handicapées. Le premier est lié au système de la bouffonnerie : dans ce cas, nous pouvons parler de traitement dégradé. L'autre est lié aux manifestations religieuses de charité et d'attention personnelle. Après cela, dans l'ère moderne, la société change sa compréhension du handicap. Lentement, le handicap devient un champ de recherche spécialement conçu pour la réinsertion de travailleurs blessés (après la révolution industrielle) et des blessés de guerre. Dans ce sens, il est intéressant de comprendre la notion de handicap et comment ce concept influence les manières de faire face aux limitations d'activités et les restrictions de participation d'une personne atteinte d'une maladie ou d'un handicap [1]–[3].

Le terme « handicap » vient du monde du sport, et son but est de réduire le(s) désavantage(s) d'un compétiteur par un système de compensation. Cela peut prendre la forme d'un poids ou une distance supplémentaire pour quelqu'un qui pourrait être vu comme ayant des avantages injustes. Une telle notion de compensation a été transférée au contexte du handicap, cependant son application ne de-

vrait pas signifier que toutes les différences peuvent être compensées grâce à un système ou une politique de discrimination positive. Bien souvent, les limitations persistent et, dans plusieurs cas, les moyens de compenser ne sont pas possibles ou suffisants pour rendre une personne complètement autonome. Comme résultat, les restrictions demeurent, même si elles sont soulagées.

Ainsi, il est également important qu'une performance de PSH dans un niveau d'égalité analogue à celui des personnes qui ne subissent pas une infirmité ou handicap ne soit pas le critère utilisé pour évaluer les initiatives d'inclusion sociale. Au contraire, les valeurs sociales doivent être mises en relief de manière à ce que l'importance se pose sur la satisfaction et le bien-être personnel [1]. En revanche, cela ne veut pas dire que la performance fonctionnelle d'une PSH ne peut pas être égale ou supérieure à celle des autres. En effet, elle ne doit pas être un critère négatif d'évaluation ou une source additionnelle de pression sur les initiatives d'inclusion.

De plus, les situations de handicap font partie de la condition humaine. C'est les cas des nouveau-nés en totale dépendance de leurs parents, ou des personnes en face d'une nouvelle situation comme être étranger ou des situations plus délicates comme être confronté à une tragédie. Ainsi, toutes les personnes sont confrontées à un handicap, temporaire ou permanent, dans leurs situations de vie quotidienne. Plus spécifiquement, des situations de handicap qui touchent tout le monde sont celles qui viennent avec le processus de vieillissement. La population âgée croissante connait des difficultés fonctionnelles progressives. En prenant en compte les arguments exposés tout au long de cette sous-section, il est plus clair que le nombre de personnes ayant besoin de compensations à cause d'une situation de handicap, de manière à trouver une pleine participation à la vie sociale, est plus important qu'on peut l'imaginer : les handicapés ne sont pas ceux que l'on croit [4].

1.1.2 Les chiffres et les situations liées au handicap

Les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) indiquent que près de 785 millions de personnes vivent avec une forme de handicap, soit environ 15% de la population mondiale dont 110 millions (2,2%) ont des difficultés fonctionnelles très importantes [4]. Dans les estimations du « *Global Burden of Disease* », ces chiffres autour du handicap sont de 975 millions (19,4%) personnes, dont 190 millions (3,8%) ont « handicap sévère », tels que la quadriplégie, la dépression grave, ou la cécité. En outre, ce rapport mesure la population d'enfants handicapés (0-14 ans) à près de 95 millions (5,1%), dont 13 millions (0,7%) ont un «handicap sévère» ou lourd [5].

Le phénomène du handicap n'est pas linéaire ni constant dans le temps et l'espace. Des différentes caractéristiques peuvent être trouvées dans des endroits séparés dans le monde, tels que le type de handicap prédominant dans un endroit, ou l'évolution du sujet dans le temps. Les facteurs génétiques ou les accidents personnels sont présents et influencent l'émergence de troubles ou de handicaps. Par ailleurs, les facteurs sociodémographiques ont des véritables conséquences d'un état de santé et dans un état de fonctionnement d'une personne ou d'une population. Par exemple, les pays insuffisamment

développés ont une prévalence plus élevée de l'invalidité que les pays développés. Le handicap est plus fréquent chez les femmes, les personnes âgées, les enfants et les adultes qui sont pauvres [4]. Ainsi, la situation de handicap affectera les populations vulnérables de manière plus forte que d'autres. D'ailleurs, dans les environnements développés les troubles dus au handicap ont naturellement moins d'impact sur la qualité de vie des populations.

Du fait de leurs problèmes fonctionnels, les enfants handicapés sont moins susceptibles de fréquenter l'école que les enfants valides. Par conséquence, ils auront tendance à avoir plus de problèmes d'insertion dans le marché du travail. Par exemple, dans les pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE), le taux d'emploi des personnes handicapées (44%) était légèrement supérieur à la moitié de celui des personnes non handicapées (75%). En outre, les coûts supplémentaires des soins médicaux et les dispositifs d'assistance personnelle, sont plus conséquents pour les personnes handicapées [4].

En dépit de ces situations décrites, il est reconnu que les PSH peuvent participer à la vie de la communauté où elles habitent. Ce processus d'intégration et d'inclusion serait assuré par des activités adéquates de réadaptation, des soins de santé, de la rééducation, de la formation adaptée et bien d'autres initiatives. Parmi celles-ci nous pouvons citer la suppression de certaines barrières physiques à l'accessibilité, un effectif changement de paradigme ou de modèles mentaux vis-à-vis des PSH et l'utilisation de Produits d'Assistance (PA) qui visent à compenser les limitations, origines d'une situation de handicap.

1.1.3 Modèles conceptuels du handicap

La perception sociale de l'invalidité dépend des modèles conceptuels relatifs au contexte du handicap. En fait, nous pouvons noter que quelques éléments interdépendants reflètent la compréhension du problème du handicap par la société. Quelques ouvrages parlent de différentes approches et modèles du handicap [6]. Dans cette littérature spécialisée, les aspects de traitement de la maladie et de l'intégration et l'inclusion de la PSH dans la société sont souvent abordés. Ceux-ci peuvent être considérés comme des variables qui guident la motivation de la recherche scientifique et des professionnels du domaine de la santé sur les pratiques de soin des PSH. Ainsi, nous pouvons dire que l'approche utilisée pour faire face au problème de l'invalidité constitue le premier axe de compréhension des modèles conceptuels du handicap. Sur cet axe, l'invalidité peut être la cible d'un traitement médical ou d'un processus d'intégration et d'inclusion. Cette dualité présente d'un côté les modèles curatifs et d'autre les modèles adaptatifs. Dans ce contexte, un deuxième axe peut être dessiné. Il traite la source d'une situation de handicap où l'on peut trouver des modèles individuels et sociaux. Le croisement entre ces axes est présenté dans le Tableau 1 qui illustre la classification des modèles conceptuels du handicap.

Tout d'abord, il est important de comprendre que les modèles curatifs vont essayer d'intervenir dans une situation spécifique avec l'intention d'éliminer la source de handicap à travers une guérison. Cette

vision curative, dans une perspective individuelle, peut conduire à une stigmatisation des personnes handicapées en tant que personne ayant besoin d'être traitée. Ainsi, après le travail d'élimination de la maladie, la personne devient quelqu'un de « normal ». D'autre part, les modèles centrés sur l'adaptation considèrent que la déficience est traitable seulement dans quelques cas. Donc, il est nécessaire d'adapter la situation de l'individu pour son intégration dans la société et aussi d'adapter la société à accepter les personnes handicapées.

		Approche utilisée pour faire face au problème de l'invalidité	
		Curative	**Adaptative**
Source de la situation de handicap	**Individuelle**	Biomédical (médical)	Fonctionnel (réhabilitation et rééducation)
	Sociale	Droit de l'homme (juridique)	Accessibilité (social)

Tableau 1 – Classification des modèles conceptuels du handicap. Adaptée de [7], [8]

Dans le deuxième axe lié à la source de la situation de handicap, celle-ci peut être considérée comme individuelle ou sociale. Si nous considérons le point de vue individuel, la situation de handicap est vue comme une conséquence des maladies, des accidents et/ou des blessures. Pour compléter ce spectre, le problème du handicap peut aussi être abordé comme un problème d'intégration sociale, réduction de barrières physiques et de préjugés. Au regard de cette approche, il n'existe plus de personnes handicapées, mais une société qui n'est pas préparée à leur pleine intégration [7], [9], [10].

Dans le modèle **médical ou biomédical**, l'invalidité est considérée comme un problème individuel directement causé par une maladie, un traumatisme ou autre problème de santé. Ainsi, ces personnes sont considérées comme des patients qui ont besoin d'un traitement professionnel pour la guérison, partielle ou complète de la source du handicap. La mise en œuvre de ce modèle peut être faite soit par un traitement médical, soit par une intervention chirurgicale ou par un traitement de kinésithérapie, etc. En outre, dans ce contexte, nous pouvons trouver le développement des recherches dans les traitements, même avec l'intervention sur l'organisme de la personne ou à travers des cellules souches.

La réhabilitation et la rééducation font partie du **modèle fonctionnel**, avec lequel apparaît le problème de l'adaptation de la situation de la personne pour son insertion dans la société. Les personnes à mobilité réduite sont considérées comme des clients qui ont besoin d'améliorer leurs capacités pour aller au-delà des limites du handicap. Ainsi, le rôle de la technologie d'assistance et de la formation est au centre de ce modèle, et à partir de cela, la personne handicapée pourrait être en mesure de participer à plusieurs activités comme l'apprentissage, l'emploi, le loisir, etc.

Considérant les sources sociales de situation de handicap, **le modèle de l'accessibilité** est à la fois une alerte prouvant que les PSH existent et qu'elles ne sont pas pleinement considérées par la société. Ce modèle correspond aussi à un groupe d'actions qui conduit à l'inclusion et l'intégration de ces personnes à la société. Nous observons des actions comme des adaptations du cadre bâti, l'adaptation de

l'aménagement urbain mais aussi de la discrimination positive. Il est également important de reconnaître l'existence d'intersections entre ce modèle et le **modèle juridique ou modèle des droits de l'homme**, qui considère que les PSH sont des citoyens qui ont leurs droits et leurs responsabilités. Ainsi, ils ont le droit d'accès aux espaces publics, d'utiliser les équipements publics, ainsi que le droit de vote, le droit à l'éducation et au travail. Le Tableau 2 présente un résumé des caractéristiques de chaque modèle du handicap par rapport à trois variables : le traitement, la prévention et la responsabilité sociale.

Modèles	Modèle individuel (médical)		Modèle social (socio-environnemental)	
	Biomédical	Fonctionnel	Environnemental	Droits de l'Homme
Traitement	La guérison par moyens techniques	La rééducation - réadaptation, services spécialisés	Les adaptations, Mise en Accessibilité, Services de Soutien	Les règles politiques et sociales communes (droits fondamentaux)
Prévention	Le dépistage génétique ou biologique pour l'élimination de l'origine du problème	La prise en charge précoce ; la prévention des aggravations ou de l'évolution de la situation	L'élimination des barrières sociales (économiques, physiques, etc.)	La reconnaissance de la responsabilité sociale
Responsabilité sociale	Mis en place des moyens d'élimination et guérison	Mises à disposition des moyens permettant l'amélioration de la qualité de vie, du confort, de l'autonomie, et de compensation	L'élimination des obstacles physiques, culturels, etc.	La recherche de réduction des inégalités, et pour l'exercice du droit à la pleine citoyenneté à travers des outils légaux et des compensations

Tableau 2 – Les modèles conceptuels du handicap d'après [7], [8]

Il semble important de remarquer que tous ces modèles sont incomplets et liés à des stéréotypes sur les PSH [8]. En raison de cela, il est nécessaire d'avoir une vision globale du handicap ou une approche appropriée pour faire face aux enjeux de la situation de handicap. Ainsi, nous devons prendre en compte les origines individuelles et sociales, ainsi que les possibilités de guérison, d'inclusion et d'intégration des PSH. Dans ce sens, les systèmes de caractérisation ou de classification des PSH tentent d'intégrer ces modèles dans une approche globale du phénomène du handicap. Ainsi, une synthèse des modèles peut fournir cette vision plus complète des différents points de vue de la santé et de l'invalidité.

1.1.4 Caractérisation des personnes en situation de handicap

A partir des aspects historiques du handicap et des modèles conceptuels du handicap présentés en amont, nous pouvons exposer la définition de « PSH » utilisée dans ce travail. Cette définition considère une approche globale du handicap et est liée à un système de caractérisation de la situation de handicap. Ainsi, pour cette recherche, une PSH est une personne qui « a une ou plusieurs déficiences, une ou plusieurs limitations d'activité, une ou plusieurs restrictions de la participation, ou une combinaison de déficiences, de limitations d'activité et/ou de restrictions de la participation » [2].

A son tour, les déficiences sont définies comme « une anomalie, carence, perte ou autre écart important par rapport à une norme au niveau des structures anatomiques ». En outre, la déficience peut être

« temporaire ou permanente; progressive, régressive ou statique; innée ou acquise ; intermittente ou continue ». Les déficiences ne sont pas subordonnées à une seule étiologie et elles peuvent entraîner d'autres déficiences [3]. Les déficiences sont classées dans les catégories appropriées à l'aide de critères qui sont identiques pour les fonctions et pour les structures corporelles. Dès qu'une altération est présente, elle est évaluée en termes de gravité à l'aide d'une échelle qui utilise un qualificatif générique de (a) perte ou manque; (b) réduction; (c) addition ou excès; et (d) écart [3].

Il existe plusieurs travaux de classification dans le domaine du handicap. Datant du milieu des années 1960, Nagi [11] a fait une distinction entre les termes pathologie, handicap, limitations fonctionnelles et incapacité. Il peut également être trouvé d'autres références à la «situation de handicap», comme celle proposé par Minaire cité par Delcey [7], où les facteurs personnels et sociaux sont inclus dans la définition du handicap. Un autre travail dans ce contexte est focalisé sur l'identification du handicap et le système de mesure de Hamonet [12]. Il consiste en un outil d'évaluation des composantes du handicap. Il y a aussi le « Processus de Production du Handicap » d'origine canadienne-québécoise et qui définit le handicap comme une intersection des causes personnelles et environnementales.

La standardisation d'un langage ou classification dans un domaine facilite la communication, la collaboration et également la création de données statistiques sous un référentiel unique. Cependant, dans le domaine du handicap et de l'invalidité, il existe encore beaucoup de problèmes de définition et de cohérence de classification [13]. Même s'ils ne s'y limitent pas, ces problèmes sont liés aux définitions et aux classifications du handicap et leur grande diversité. Cette variabilité et l'absence d'un système commun de classification ont créé des problèmes persistants comme avoir des statistiques fiables sur le handicap, placer les services d'assistance adaptés suivant les situations locales, ou même faire la comparaison entre des différentes localités ou sur l'évolution des situations.

En prenant compte ces problèmes, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a élaboré en 1980 une Classification internationale des déficiences, incapacités et désavantages (CIH). Ce document a été conçu pour fournir un cadre d'intégration et un langage commun pour la description de la santé et des états liés à la santé. De plus, cette classification était utile pour les consommateurs, pour les fournisseurs de services, pour les chercheurs et pour les décideurs politiques étant donné qu'elle fournit une clarté sémantique pour les termes déficience, incapacité et handicap [3], [13].

La CIH a été révisée et republiée en 2001 avec des mises à jour de contenu et des changements dans le titre, ce qui signifie également des changements dans l'approche à travers laquelle les PSH sont vues. Des termes négatifs comme "déficiences" et "handicap" ont été remplacés, ce qui entraîne la nouvelle désignation : Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF). En outre, l'OMS affirme que la CIF « prend une position neutre à l'égard de l'étiologie et permet aux chercheurs d'inférer les causes des situations qu'ils observent à l'aide de méthodes scientifiques » [3].

La CIF fait partie des classifications internationales élaborées par l'OMS. En ce sens, les conditions de santé sont principalement classées dans la Classification internationale des maladies (10e révision), ou

de la CIM-10, qui fournit un cadre écologique. De l'autre côté, la CIF classifie le fonctionnement et le handicap associé aux conditions de santé et de contexte. Par conséquent, les deux classifications sont complémentaires : la première se concentrant sur les maladies, les troubles ou d'autres conditions de santé et la seconde se concentrant sur les aspects du fonctionnement. De plus, l'OMS préconise que la CIF possède une application universelle et souligne également que la classification n'est pas sur les personnes handicapées, mais sur les personnes et toutes leurs conditions de santé [3].

Depuis sa publication en tant que CIH, la CIF a été utilisée à des fins diverses (Tableau 3). Son large spectre d'utilisation est remarquable, allant de la sécurité sociale, à l'évaluation des soins de santé gérés, en passant par des enquêtes de population à plusieurs niveaux. La CIF offre également un cadre conceptuel applicable aux soins de santé personnels, aux technologie d'assistance, et à l'amélioration de la participation en supprimant ou en atténuant les obstacles sociétaux et en encourageant la fourniture de soutiens sociaux et des animateurs [3].

Application	Description et exemples
Outil statistique	Collecte et enregistrement des données (par exemple dans les études et les enquêtes démographiques ou dans le cadre de systèmes d'information pour la gestion)
Outil de recherche	Mesure des résultats ou conséquences des maladies, de la qualité de la vie ou des facteurs environnementaux
Outil clinique	Évaluation des besoins, des traitements correspondant à des conditions spécifiques, évaluation d'aptitudes professionnelles et évaluation de la réadaptation et de ses résultats
Outil de politique sociale	Planification de la sécurité sociale, des systèmes d'indemnisation et de la conceptualisation et de la mise en œuvre des politiques
Outil pédagogique ou éducationnel	Conception de programmes pour des campagnes de sensibilisation et pour la mise en œuvre d'actions sociales

Tableau 3 – Applications de la CIF [3]

La CIF organise l'information en deux parties. La première traite du fonctionnement et du handicap et est divisée en deux composantes, à savoir : les Fonctions organiques et les Structures anatomiques ; et les Activités et la Participation. La deuxième partie est liée aux facteurs contextuels qui affectent le fonctionnement et le handicap, et qui comprennent à la fois des Facteurs personnels et des Facteurs environnementaux. La CIF est une approche multi niveaux pour comprendre le fonctionnement et le handicap comme un processus interactif et évolutif. Dans la partie à droite de la Figure 1, le modèle est présenté pour illustrer les multiples interactions entre ses parties. Le CIF explicite que le fonctionnement d'une PSH dans un domaine spécifique est donné à partir d'une interaction complexe entre l'état de santé (fonctionnement individuel) et les facteurs contextuels.

Pour la première partie (fonctionnement individuel), la CIF définit le corps en tant qu'un système psycho-physiologiques avec deux composants : les fonctions et les structures. Les fonctions organiques sont les fonctions physiologiques, y compris les fonctions psychologiques, tandis que les structures du corps sont les parties anatomiques classées selon les systèmes organiques du corps.

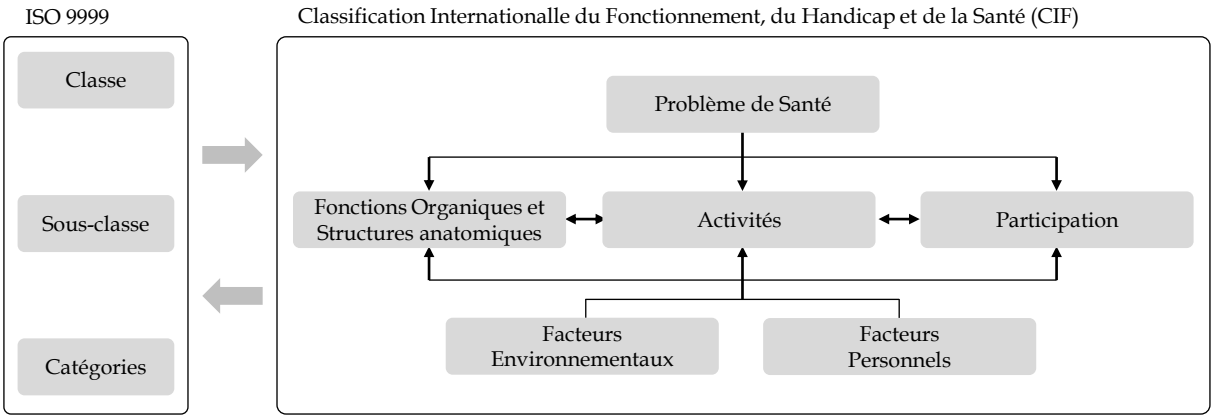


Figure 1 – Interactions entre la classification ISO 9999 et les composants de la CIF [3]

De plus, les aspects de fonctionnement des activités et de la participation sont liés aux limitations et restrictions. La CIF définit l'activité comme l'exécution d'une tâche ou d'une action par un individu et les limitations connexes comme les difficultés qu'un individu peut avoir dans l'exécution des activités. D'autre part, la participation est l'implication dans une situation de vie, et les restrictions à la participation sont les problèmes qu'une personne peut rencontrer dans son insertion dans ces situations.

Les domaines pour l'activité et la participation sont évalués en fonction des performances et des capacités de la personne. L'aspect de la capacité indique le niveau de fonctionnement le plus probable qu'une personne peut atteindre pour l'exécution d'une activité dans un environnement standard. De plus, la performance est définie comme étant ce que les individus font dans leur environnement actuel, qui se réfère aux facteurs de l'environnement (Tableau 4) [3].

	Partie 1 : Fonctionnement et handicap		**Partie 2 : Facteurs contextuels**	
Composants	**Fonctions organiques et structures anatomiques**	**Activités et Participation**	**Facteurs Environnementaux**	**Facteurs Personnels**
Domaines	1. Fonctions organiques 2. Structures anatomiques	Domaines de la vie (Tâches, actions)	Facteurs extérieurs affectant le fonctionnement et le handicap	Facteurs internes affectant le fonctionnement et le handicap
Schémas	Changement dans les fonctions organiques (physiologie) Changement dans la structure anatomique	Capacité de réaliser des tâches dans un environnement standard Performance réaliser des tâches dans l'environnement réel	Impact (facilitateur ou obstacle) de la réalité physique, de la réalité sociale ou des attitudes	Impact des attributs de la personne
Aspect positif	Intégrité fonctionnelle et structurale	Activité Participation	Facilitateurs	
	Fonctionnement			
Aspect négatif	Déficience	Limitation de l'activité Restriction de la participation	Barrières, obstacles	
	Handicap			

Tableau 4 – Aperçu de la CIF [3]

La deuxième partie de la CIF (les facteurs contextuels) est divisée en facteurs environnementaux et facteurs personnels. Les facteurs personnels ne figurent pas dans le classement car il y a d'innombrables possibilités de profils selon les variances sociales et culturelles. Ces facteurs sont le contexte

particulier de la vie d'un individu, comme son genre, son groupe ethnique, son âge, aussi bien que d'autres facteurs comme les conditions de santé, forme physique, style de vie, etc. Les facteurs environnementaux sont l'espace physique et le contexte social et attitudinal dans lesquels vit une PSH. Ils sont extérieurs aux individus et peuvent les influencer de manière positive ou négative sur deux niveaux différents :

(a) Individuel – il s'agit de l'environnement immédiat dont l'individu se retrouve face à face (domicile, lieu de travail ou école). Cela inclut l'environnement physique et aussi celui immatériel ;

(b) Sociétal - il s'agit des structures, services, approches ou systèmes qui impactent la communauté et les individus. Cela a une composante abstraite, comme les lois, les attitudes et les idéologies, et une composante concrète, comme les activités communautaires ou les services de transport [3].

Fonctions Organiques (b)	**Structures Organiques (s)**	**Activités et Participation (d)**	**Facteurs Environnementaux (e)**
1. Fonctions mentales 2. Fonctions sensorielles et douleur 3. Fonctions de la voix et de la parole 4. Fonctions des systèmes cardio-vasculaire, hémato-poïétique, immunitaire et respiratoire 5. Fonctions des systèmes digestif, métabolique et endocrinien 6. Fonctions génito-urinaires et reproductives 7. Fonctions de l'appareil locomoteur et liées au mouvement 8. Fonctions de la peau et des structures associées	1. Structures du système nerveux 2. Œil, oreille et structures annexes 3. Structures liées à la voix et à la parole 4. Structures des systèmes cardio-vasculaire, immunitaire et respiratoire 5. Structures liées aux systèmes digestifs, métabolique et endocrinien 6. Structures liées à l'appareil génito-urinaire 7. Structures liées au mouvement 8. Peau et structures annexes	1. Apprentissage et application des connaissances 2. Taches et exigences générales 3. Communication 4. Mobilité 5. Entretien personnel 6. vie Domestique 7. Relations et interactions avec autrui 8. Grands domaines de la vie 9. Vie communautaire, sociale et civique	1. Produits et technologie 2. Environnement naturel et changements apportés par l'homme à l'environnement 3. Soutiens et relations 4. Attitudes 5. Services, systèmes et politiques

Tableau 5 – Composants de la CIF avec leurs chapitres classifiables

La CIF utilise un système alphanumérique. Les lettres indiquent (b) les Fonctions organiques, (s) les Structures du corps, (d) les Activités et participation, et (e) les Facteurs environnementaux. Chaque composant est organisé en chapitres, et les lettres sont suivies par un code numérique qui commence par le numéro du chapitre. Par la suite, cette paire est suivie par le second niveau - deux chiffres -, et les troisième et quatrième niveaux - un chiffre chacun. Le Tableau 5 présente les éléments de la CIF [3].

1.2 LES PRODUITS D'ASSISTANCE (PA)

Cette section de chapitre présente une discussion sur les Produits d'Assistance (PA) en termes de définition, classification, processus d'acquisition, acceptation et abandon, aussi bien que la caractérisation de l'industrie des PA.

1.2.1 Définitions et classifications de PA

Les produits d'assistance aux PSH aident les gens à réaliser plusieurs tâches dans leur vie, comme les activités domestiques simples, celles liées aux loisirs, les déplacements, les activités professionnelles, etc. D'une manière générale dans ce domaine, la technologie est définie comme quelque chose qui permet d'assister. Mais dans le contexte du handicap, le concept d'aide est associé à la compensation des écarts de capacités qui existent entre une PSH une personne valide moyenne.

Ainsi, les PA qui nous intéressent sont définis comme tout produit (y compris dispositif, équipement, instrument ou logiciel) destiné à (1) favoriser la participation; (2) protéger, soutenir, entrainer, mesurer ou remplacer les fonctions organiques, les structures anatomiques ou des activités; et (3) prévenir les déficiences, les limitations d'activités et les restrictions de la participation [2]. En général, ils sont destinés à trois groupes spécifiques : les personnes handicapées, les personnes âgées et les personnes souffrant de maladies chroniques [14].

Dans les études sur le handicap, nous percevons une forte évolution conceptuelle. Par exemple, le handicap était perçu comme lié uniquement aux blessés et aux malades. Dans une deuxième étape, il passe à une nouvelle interprétation où sont inclus les facteurs sociaux. Aujourd'hui, nous trouvons même des classifications pour l'identification des situations de handicap qui ont une compréhension systémique croissante des phénomènes du fonctionnement et des déficiences [6]. De manière analogue, cette évolution conceptuelle est présente dans le cadre de produits d'assistance pour les PSH. Ainsi, nous pouvons trouver aussi quelques classifications pour ce type de produit. Les plus importantes sont la « *Global Medical Device Nomenclature* (GMDN) », la « *Systematized Nomenclature of Medicine - Clinical Terms* (SNOMED CT) », et la norme « ISO 9999 : 2011 - Produits d'assistance pour personnes en situation de handicap - Classification et terminologie » (ISO 9999) [15].

Le GMDN est un système de descripteurs génériques adoptés internationalement et qui permet l'identification de tout l'ensemble des dispositifs médicaux. Cela comprend tous les produits utilisés dans le diagnostic, la prévention, la surveillance, le traitement ou l'atténuation d'une maladie ou d'une blessure chez les humains. Cette classification est basée sur la norme internationale ISO 15225 (Dispositifs médicaux - Management de la qualité - Structure des données de nomenclature des dispositifs médicaux) et est compilée par des experts dans le monde entier, comme les fabricants, les autorités de santé et les organismes de réglementation. Il y a 3 éléments dans cette terminologie, qui sont : le nom du terme, le code à 5 chiffres et la définition de l'appareil [16].

De la même manière, la classification SNOMED CT est un vocabulaire clinique qui a l'intention servir de terminologie multilingue des soins cliniques à l'échelle mondiale. Elle fournit un moyen standardisé pour représenter les termes cliniques capturés par le clinicien et permet l'interprétation automatique de ces données [17]. Il y a plusieurs niveaux de classification hiérarchique comme la constatation clinique, le désordre, la procédure, l'intervention, l'entité observable et le contexte social. Les produits d'assistance font partie des « objets physiques » de la hiérarchie de cette classification [15].

A partir de la présentation de la GMDN et SNOMED CT, nous pouvons nous apercevoir que ces classifications sont plus larges que celle des produits d'assistance pour les PSH. D'autre part, la norme ISO 9999 : 2011 est seulement une classification exhaustive, hiérarchique et détaillée de produits d'assistance basée sur la fonction des produits classés, composés de trois niveaux hiérarchiques : les classes, sous-classes et divisions, comme le montre le côté gauche de la Figure 1. Une classe est égale à la somme de ses sous-classes et, par analogie, une sous-classe correspond à la somme de ses divisions en catégories de produits. Les classes et leurs définitions sont présentées dans le Tableau 6.

Classes	Définition
Produits d'assistance au traitement médical individuel	Les produits destinés à améliorer, à surveiller ou à maintenir l'état de santé d'une personne
Produits d'assistance à la rééducation des capacités	Les dispositifs dont le but est d'améliorer les capacités physiques, mentales et sociales d'une personne
Orthèses et prothèses	Les orthèses sont des dispositifs externes, utilisés pour modifier les caractéristiques de structure et de fonction des systèmes neuromusculaires et squelettiques ; les prothèses sont des dispositifs externes, utilisés pour remplacer entièrement ou en partie un segment du corps absent ou déficient
Produits d'assistance aux soins et à la protection personnelle	Les produits d'assistance à l'habillage et au déshabillage, à la protection du corps, à l'hygiène personnelle, aux patients trachéotomisés, stomisés ou incontinents et aux activités sexuelles, par exemple
Produits d'assistance à la mobilité personnelle	Les produits d'assistance à la mobilité personnelle sont utilisés lors des déplacements de plusieurs niveaux, du transfert et relevage d'une personne, en passant par l'assistance lors de la marche, ou même des véhicules pour les déplacements plus importants
Produits d'assistance aux activités domestiques	Les produits d'assistance permettant de manger et de boire
Aménagements et adaptations des logements et autres lieux	Aménagements et adaptations des logements et autres lieux pour l'accessibilité des personnes en situation de handicap
Produits d'assistance à la communication et à l'information	Dispositifs permettant d'aider une personne à recevoir, à envoyer, à produire et à traiter des informations sous différentes formes. Les aides jà la vision, à l'ouïe, à la lecture, à l'écriture, au téléphone, à la signalisation, aux alarmes et aux technologies de l'information
Produits d'assistance à la manipulation des objets et des dispositifs	Produits d'assistance à la manipulation des objets et des dispositifs à travers la touche ou à distance de façon à compenser des limitations de prise en main et/ou d'atteindre les objets
Produits d'assistance permettant d'améliorer l'environnement, les outils et les machines	Dispositifs et équipements permettant d'améliorer l'environnement individuel quotidien, les outils actionnés manuellement ainsi que les machines électriques. Les équipements utilisés les environnements globaux n'en font pas partie
Produits d'assistance à l'emploi et à la formation professionnelle	Dispositifs répondant principalement aux exigences du lieu de travail et dispositifs destinés à la formation professionnelle. Les machines, les dispositifs, les véhicules, les outils, les matériels et logiciels informatiques, les équipements, mobilier et installations de production et de bureau, ainsi que les matériels pour l'évaluation et la formation professionnelles, en font partie
Produits d'assistance aux loisirs	Dispositifs prévus pour les jeux, les hobbies, les sports et les autres loisirs

Tableau 6 – Classes de produits d'assistance aux personnes en situation de handicap [2]

La norme ISO 9999 est construite en accord avec la CIF, c'est-à-dire sur la même base conceptuelle [3]. Ainsi, en prenant en compte la liaison entre ces deux documents, aussi bien que leur qualité et leur adéquation, il nous a paru logique et naturel de choisir ces documents références comme structures de bases des classifications pour notre travail de recherche.

Finalement, cette base conceptuelle nous paraît bien alignée avec la définition légale de handicap présente dans la loi française numéro 2005-102 du 11 février 2005 (pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées) : « constitue un handicap, au sens de la présente loi, toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicap ou d'un trouble de santé invalidant » [18]. Ainsi, nous avons défini une base conceptuelle pour comprendre ce qu'est un handicap et une PSH, aussi bien que pour identifier ce qu'est un PA et le classifier. Par conséquent, nous allons nous concentrer dans les prochaines sous-sections sur la relation entre les PA, ses fabricants et ses utilisateurs.

1.2.2 L'acquisition et la fourniture de PA

Les PA rendent plusieurs avantages pour compenser les pertes ou réductions de capacités. Mais, pour qu'un PA arrive dans les mains des utilisateurs finaux, il parcourt de nombreuses étapes qui vont être différentes en fonction du point de vue des acteurs considérés : l'utilisateur final dans sa globalité (acquisition du PA) ou les acteurs de la mise à disposition du PA.

Du point de vue de l'utilisateur final, les étapes d'acquisition d'un PA sont détaillées dans le Tableau 7. Elles sont divisées entre les étapes d'initiative, d'évaluation, de typologie, de sélection, de financement, de livraison et de suivi [19], [20].

Etape	Définition
Initiative	L'initiation du processus global de prestation de services de fourniture de PA
Evaluation	La reconnaissance de la nécessité d'un PA par un professionnel de santé, tel qu'un médecin généraliste avec une prescription
Typologie	Recommandation pour un type de PA que cible le cas de la PSH (par exemple un modèle particulier de fauteuil roulant)
Sélection	Le choix final du PA parmi les différents types de produits disponibles pour chaque situation de handicap
Financement	L'organisation du paiement du PA soit par les voies officielles ou par les voies personnelles de financement
Livraison	La livraison physique de l'aide technique à la personne handicapée, y compris la formation et la configuration de besoin
Suivi	L'entretien du PA et la surveillance continue de l'usage du PA de manière à savoir s'il convient toujours aux besoins de la PSH

Tableau 7 – Processus d'acquisition d'un produit d'assistance [19], [20]

Quelques questions sont vitales dans ce processus d'acquisition d'un PA. L'Initiative d'achat peut partir de la PSH et/ou de sa famille, bien que des services de santé interviennent auprès de cette personne. Dans ce cas, il est important que le support et l'accès à l'information sur sa situation de la PSH leur soient fournis. Ensuite, dans l'Evaluation globale (santé et environnement), il est nécessaire de savoir qui procède à l'évaluation, quel est le niveau de détail de l'évaluation et quelle est la durée de cette étape. De plus, il est important de vérifier l'implication de la PSH dans cette étape et si les spéci-

ficités de chaque situation sont prises en compte. Dans l'étape suivante de Typologie, il semble important de confronter la PSH à plusieurs options de solution adaptées à sa situation et de réaliser un choix basé sur des essais. Lors de la Sélection, il est important d'identifier quels sont les critères qui définissent la prise de décision et quelles personnes ont le pouvoir de prendre la décision finale sur le PA qui sera utilisé par la PSH. L'étape suivante est le Financement du produit, où il se trouve des financements personnel et officiel, aussi bien qu'une combinaison des deux. Un facteur délicat dans cette étape est l'existence d'alternatives quand le financement officiel n'est pas suffisant pour l'achat du PA et que la personne ne possède pas de ressources suffisantes pour son acquisition. Pour l'étape de Livraison, un aspect qui joue un rôle très important est l'entraînement de la PSH à l'utilisation du PA. Aussi bien que dans l'étape de Suivi, il est primordial de déterminer la fréquence des évaluations et l'identification du ou des responsables pour prendre en charge l'entretien du PA [19].

En France, l'Initiative d'acquisition d'un PA est normalement faite en étroite collaboration avec le médecin généraliste qui délivrera une ordonnance. Il n'existe pas une procédure unique, mais en général, le PSH et/ou sa famille et ses proches prennent l'initiative de chercher un PA adéquat. Des informations et des conseils pour les PSH sont en grande partie gérés par des centres d'information et de conseil sur les aides techniques, par des associations de PSH et par quelques fournisseurs. L'évaluation du besoin pour un PA est faite par les services de santé, soit par des professionnels individuels ou des équipes multidisciplinaires. Ensuite, pour la Typologie et la Sélection, si les usagers finaux participent financièrement à l'acquisition du produit, ils sont impliqués dans la sélection finale. Par conséquence, les critères de sélection sont dans la plupart des cas principalement basés sur le prix plutôt que sur l'adéquation fonctionnelle du produit. Pour le Financement du produit, la PSH doit savoir que le PA en question figure sur la liste des produits et prestations remboursés, aussi bien que connaître les mécanismes de financement possibles liés à son cas. De plus, c'est à la charge des intéressés (PSH et sa famille) de réaliser les démarches nécessaires pour l'achat et le remboursement. Dans quelques cas, les fournisseurs peuvent aider à la démarche, une fois qu'ils sont directement impliqués dans la transaction. Après, à la livraison du produit, l'entraînement et la maintenance sont généralement traités par le fournisseur du PA et les coûts associés sont déjà compris dans le prix d'acquisition du PA. Quelques fournisseurs permettent aux usagers la réalisation d'une phase d'essais avec le produit ou la proposition de quelques options pour choisir la plus adéquate. Finalement, il n'existe pas de directives strictes pour le Suivi de l'utilisation continu du PA. Cela devient de nouveau un cas pour une (ré)évaluation par un professionnel de santé [19].

Si d'un côté il existe un processus pouvant être suivis par les PSH lors de l'acquisition d'un PA, d'un autre côté, les fournisseurs de PA sont aussi confrontés à un processus strict lorsqu'ils veulent proposer un produit aux PSH. Les difficultés de cette démarche sont liées aux objectifs d'une société désirant que ses produits fassent partie d'un système national unique de financement ou remboursement. Les étapes de cette démarche pour les fabricants sont détaillées dans le Tableau 8.

Etape	Définition
Information et sensibilisation	la première étape avant d'accéder à un marché est d'avoir des informations à jour pour prendre les bonnes décisions
L'accès aux marchés	Quelques obstacles à l'accès au marché peuvent empêcher la distribution de produits sur le marché. Cependant, au sein de l'UE garantit, la circulation des marchandises est assurée
L'acceptation du produit	La présence d'un produit sur le marché ne signifie pas que les utilisateurs finals auront accès à eux. Les systèmes légaux nationaux pour la livraison des PA doivent dans la plupart des cas, accepter formellement le produit avant tout financement
Financement	Une fois que le produit est accepté, le montant maximal pour le financement ou le remboursement devra être déterminé

Tableau 8 – Processus d'approvisionnement produit d'assistance [19], [20]

Dans le cadre du processus d'approvisionnement, il est indispensable d'identifier des sources d'information sur le marché local et comment se fait l'accès aux marchés. Ensuite, pour l'acceptation du PA dans le marché, il est important d'identifier les centres permettant de réaliser les tests des produits, et les procédures pour entrer dans le système de livraison officiel et si les produits vont figurer dans un catalogue de produits remboursables. Finalement, l'entreprise doit être consciente de l'extension du financement proposé par les autorités locales [19].

En France, pour que les fabricants et fournisseurs de PA puissent obtenir le droit au remboursement des produits, ils doivent demander un agrément au Comité Economique des Produits de Santé (CEPS) lié au Ministère des Affaires sociales et de la Santé. Cela est obligatoire également pour les sociétés étrangères qui veulent réaliser des affaires en France. Le processus à réaliser auprès du CEPS est long et compliqué et cela pose des problèmes aux fabricants français et internationaux. En revanche, pour les produits non-remboursables, il n'existe pas de règles spécifiques. Une autre spécificité française est qu'il est obligatoire par les fournisseurs de réaliser l'entretien d'un PA quand il figure dans la liste de produits remboursables [19].

Finalement, il existe un processus complexe d'un côté pour la fourniture et d'un autre coté pour acquisition d'un PA par le PSH. Il est vrai également que les PA ne sont pas toujours source de satisfaction par les usagers finaux. Cette insatisfaction est liée à plusieurs raisons qui sont analysées dans la section ci-dessous.

1.2.3 L'acceptation et l'abandon de PA

Quelques études montrent des problèmes liés à abandon ou à la cessation d'utilisation de PA. Cette décision peut survenir suite à une expérience d'utilisation d'un PA en remplacement d'un précédent, ce qui signifie un rejet d'une innovation pour une autre plus performante ; ou une désillusion, ce qui signifie un rejet d'une innovation vis-à-vis de sa performance [21], [22]. En effet, la compréhension de ces phénomènes s'initie à partir de la connaissance du processus d'acquisition d'un tel produit [6], [19], [20]. Les délais entre la demande initiale et la livraison du produit, les montants financiers engagés (même quand il existe des systèmes officiels de financement), aussi bien que la performance du

PA lui-même peuvent conduire à l'arrêt complet de son utilisation. Les chercheurs dans ce domaine concentrent leurs recherches dans trois axes, à savoir : (1) les caractéristiques personnelles de l'utilisateur et l'acceptation de la technologie, (2) les attributs des dispositifs que les clients préfèrent et (3) les enquêtes sur l'utilisation des dispositifs [21].

A propos de ce dernier type d'étude, il est perceptible que les statistiques liées à l'abandon ou au rejet sont très différentes selon le type de PA étudié. Ainsi, il n'est pas facile de transférer les conclusions sur le comportement des usagers de différents types de PA en termes d'acceptation et d'abandon. En outre, il faut reconnaître que les études montrent que les taux d'abandon de PA ne sont pas négligeables et que ses raisons doivent être investigués [21], [23]–[25]. En revanche, le pourcentage d'abandon n'est pas suffisant pour expliquer les raisons de l'échec du produit ou comment l'améliorer.

En termes de caractéristiques personnelles, nous pouvons dire que l'acceptation du handicap en tant que situation personnelle est une condition primordiale à l'acceptation du PA. Sans une auto-acceptation, les PSH ne trouveront pas la motivation pour la participation de la vie en société, et ne seront pas non plus en état d'accepter un PA [21], [24], [26]. De manière général, les études démontrent que plus positive est la vision personnelle sur la propre qualité de vie et sur ses caractéristiques psychosociales, plus la PSH est enclin à l'utilisation d'un PA. Par ailleurs, cette prédisposition n'implique pas dans une correspondance adéquate les besoins d'une PSH et les caractéristiques et fonctionnalités d'un PA [24]. Ainsi, nous nous concentrons désormais sur caractéristiques des PA qui sont reliés à leur l'abandon et à l'acceptation par les utilisateurs finaux.

Dans une étude menée par Phillips et Zhao [21], les auteurs établissent trois catégories d'attributs de PA, de façon à investiguer s'ils sont valorisés par les utilisateurs, à savoir : (1) l'aspect physique du produit, (2) le processus de sélection et acquisition du produit et (3) l'utilisation continue du produit. Dans le Tableau 9, les catégories, sous-catégories et les variables connexes à l'acceptation et abandon des PA sont détaillées [21].

À partir de ce schéma, cette étude a conclu que les facteurs conduisant à abandon des PA sont les faibles performances, la non-considération de l'avis de l'utilisateur lors de la sélection du dispositif, les changements dans les besoins de l'utilisateur liés à l'amélioration ou le déclin des conditions cliniques de la personne et la facilité d'achat. La commodité d'achat est tout à fait liée à la proposition de biens standardisés qui sont fournis par les services de santé ou sont facilement trouvables dans les catalogues de pharmacies. Ainsi, ces produits faciles à acheter ont normalement un grand taux d'abandon dû à leur inadaptation au contexte d'utilisation et aux besoins spécifique de chaque utilisateur [21], [27].

En effet, il est difficile d'obtenir une adaptation optimale de la technologie pour les besoins de chaque personne, surtout vis-à-vis de ses caractéristiques morphologiques et anthropométriques. Si les personnes ne sont pas prises en compte dans le processus de sélection ou même lors de la conception du

produit, de nombreux aspects importants ne seront pas identifiés et intégrés dans le concept du dispositif, soit en termes de fonctions, soit en termes d'interface entre le produit et l'utilisateur.

Catégories de variables	Sous-catégories	Définition
Aspects physiques	Performance	Effectuer mieux la tâche, être fiable, confortable, facile à utiliser, sûr et bien ajusté à l'utilisateur
	Demande d'énergie	Cela implique dans les formations requises pour l'utilisation, la facilité d'assemblage et l'effort demandé pour l'utilisation
	Commodité	Le niveau de facilité pour le rangement et pour le transport du PA
	Assistance d'une tierce personne	Les aides requises pour l'utilisation du PA, l'effort demandé à une tierce personne, etc.
Sélection et acquisition	Considération de l'opinion de l'utilisateur	Implication de l'utilisateur final dans le processus de sélection et acquisition du PA
	Facilité d'achat	Le niveau de standardisation d'un PA implique dans une facilité plus importante de l'obtenir (présence dans le marché et prix pratiqués)
	Initiatives sur le processus d'acquisition	Des facteurs liés à qui identifient les besoins, à qui paye et à qui est le propriétaire du PA
	Les alternatives disponibles	Proposition des solutions alternatives pour répondre aux besoins identifiés
Utilisation continue	Besoins et priorités	Evaluation de la PSH sur le degré d'adéquation entre le PA en cours d'utilisation et son cadre personnel de besoins
	Opinions des autres personnes sur le PA	L'acceptation du PA dans le contexte social d'une PSH, soit au niveau plus proche comme la famille, soit plus éloigné comme le travail

Tableau 9 – Facteurs prédicteurs de l'acceptation et abandon des PA. Adapté de [21]

En outre, les attentes et les réactions des personnes vis-à-vis de la technologie sont complexes [24]. Ces réactions vont dépendre de plusieurs facteurs comme la perception de facilité d'utilisation, d'utilité de la technologie, du plaisir d'utilisation et la perception de contrôle sur la technologie [28]. Une autre étude synthétisée dans le Tableau 10, montre des résultats assez similaires sur les raisons qui conduisent un individu à abandonner un produit d'assistance après son adoption. Nous pouvons apercevoir que l'avantage relatif à d'autres produits, la compatibilité du produit avec les besoins, le soutien de services professionnels et la participation des consommateurs dans le processus de sélection et d'acquisition ont un lien très fort avec l'abandon des produits d'assistance. En outre, la possibilité d'expérimenter un dispositif avant de l'adopter et les changements dans les besoins ou priorités de l'utilisateur sont également liés à ce phénomène [22].

Variables d'acceptation	Définition	Relation avec l'abandon du PA
L'avantage relatif	Il se réfère à la perception des avantages d'une innovation quand elle est comparée à la dernière génération ou d'autres technologies disponibles	Liaison significative
Compatibilité	Il se réfère au degré dans lequel une innovation est perçue comme compatible avec les besoins de l'adoptant	Liaison significative
Réinvention	Le degré auquel la technologie est passible d'être changée ou modifiée par un utilisateur pour adapter à ses besoins et contraintes	Liaison pas significative
Essayabilité	Le degré auquel l'utilisateur peut expérimenter la technologie avant de l'adopter	Certaine liaison
Soutien de services professionnels	Il s'agit de services tels que la formation à l'utilisation du produit ou pour son entretien	Liaison significative

Implication des consommateurs	Implication d'un utilisateur dans la sélection, l'acquisition, l'utilisation et la maintenance d'un dispositif	Liaison significative
Changement des besoins de l'utilisateur	Modification des exigences en raison de la nature du handicap et aussi dû à des changements dans le style de vie	Certaine liaison

Tableau 10 – Facteurs associés à l'abandon des produits d'assistance. Adapté de [22]

Pour conclure, maîtriser l'utilisation complète d'un PA est vitale pour son effectivité à contourner les limitations d'activité et les restrictions de participation sociale. Notamment, la performance du produit par rapport aux besoins évolutifs de la personne et la prise en considération de l'opinion de l'utilisateur et de ses proches sont vus comme des facteurs déterminants d'une utilisation satisfaisante d'un PA. Cependant, les études ne font pas la corrélation entre ces facteurs et le processus de conception de tels produits. A notre avis, prendre en considération ces facteurs depuis la conception des produits est la meilleure manière d'améliorer la satisfaction des PSH vis-à-vis des PA.

1.2.4 Caractéristiques de l'industrie de PA

Le marché des PA est composé de plusieurs acteurs qui jouent différents rôles dans les processus de mise à disposition et d'acquisition de tels produits. L'étude nommée HEART (*Horizontal European Activities in Rehabilitation Technology*) développée au sein de la Commission Européenne liste les acteurs qui ont été identifiés dans ce contexte, notamment les organisations industrielles, les groupes et organisations d'intérêt des PSH, les organisations de financement, les organisations gouvernementales et légales, les organisations orientées vers la technologie et des autres comme les universités, les centres de réhabilitation, etc. Bien sûr, nous devons considérer comme partie de ce contexte les utilisateurs finaux, soit les PSH ou les personnes proches comme la famille et/ou soigneurs [29]–[31]. L'industrie des PA est largement composée par de Petites et Moyennes Entreprises (PMEs) même si nous trouvons aussi des grandes firmes et des firmes multinationales. En fait, les entreprises présentes dans ce marché ont quatre grands profils, à savoir [32]–[34] :

- Les entreprises dites de « haute technologie » non-spécialistes dans le domaine du handicap. Ces sociétés sont multi-produits, leur approche de conception de produits est centrée sur la technologie ;
- Les petites entreprises qui connaissent le domaine du handicap et qui vont privilégier une démarche de conception prospective sur le long terme leur permettant de déterminer les nouvelles opportunités ;
- Les anciennes entreprises installées sur le marché qui essaient de survivre en procédant à de l'innovation incrémentale, grâce aux partenariats avec les institutions de support aux PSH ;
- Les multinationales dont les technologies sont transférées au domaine du handicap et la production de PA est souvent complémentaire aux lignes de production « grand public ». En réalité, les PA sont généralement des filiales spécifiques au sein de ces grandes corporations.

En France peu d'entreprises dans le domaine du handicap ont plus de 50 salariés, et la plupart des sociétés ont seulement deux ou trois personnes. En effet, la taille de la firme est très liée au marché

dans lequel une société commercialise ses produits. En revanche, si nous considérons toute la gamme de PA pour toutes les applications possibles, comme montré dans le Tableau 6, nous pouvons dire qu'il n'existe pas de société qui offre toute cette variété de produits.

Ces firmes travaillent, ou doivent travailler, avec des échanges de différente nature avec les autres acteurs présents dans le marché. Ces acteurs peuvent avoir une très forte influence sur les affaires des sociétés présentes dans le marché de PA. Pour cette raison, les firmes doivent être conscientes de cette importance et travailler en synergie avec quelques organismes, tels que [30] :

- Les groupes et organisation d'intérêt qui peuvent fournir beaucoup d'informations sur les besoins des usagers une fois qu'ils sont focalisés sur la qualité de vie de l'utilisateur final du PA ;
- Les organisations de financement, qui financent leurs produits pour les PSH et permettre la survie de la société ;
- Les organisations gouvernementales et légales, qui peuvent diriger l'industrie à partir de la sensibilisation à des sujets comme l'accessibilité, l'emploi, l'égalité des chances et le vieillissement.

Ces PMEs présentes dans le marché de PA font face à certaines particularités du marché pour les PSH, telles que la diversité des systèmes de prestation de services, les rôles des conseillers professionnels, les systèmes de remboursements et la réutilisation de différents groupes de produits [30]. Par ailleurs, elles doivent travailler pour un public relativement restreint et très hétérogènes de clients. Ainsi, si nous ajoutons les particularités du marché des PA aux les difficultés normalement vécues par les PMEs avec les problèmes communs à n'importe quelle entreprise, nous constatons l'existence d'une situation très difficile pour la survie de ce type d'organisation [29].

Ainsi, pour faire face à ces difficultés, quelques actions sont suggérées auprès des PMEs présentes dans le marché de PA. En effet, l'étude HEART liste une séquence de recommandations dirigées vers les acteurs qui interagissent avec le marché des PA, notamment : les sociétés industrielles, les autorités des états membres de l'Union Européenne, la Communauté Européenne et les Utilisateurs. La première recommandation est que les PMEs doivent travailler comme un réseau d'entreprises de manière à « promouvoir et renforcer l'industrie de la PA, et fournir l'accès des PMEs aux ressources communes ». Ces réseaux doivent aussi considérer comme partenaires les autres acteurs susmentionnés [30]. Encore sur le point de vue des PMEs, il faut savoir que les entrepreneurs du marché de PA se voient plutôt comme des entrepreneurs sociaux et sont très motivés par des raisons sans but lucratif, y compris leur propre handicap personnel ou d'une personne proche d'eux, aussi bien que par le bénéfice social global [35]. Ainsi, il est demandé à ces sociétés d'avoir une attitude professionnelle vis-à-vis de l'attraction des investissements financiers des organismes publics et privés. Il est recommandé aussi de réaliser des coopérations avec les autres acteurs déjà listés et de concevoir leurs produits de manière modulaire avec la réutilisation de composants issus de grandes compagnies [29], [30].

En outre, les entrepreneurs du marché de PA attendent des profits inférieurs à la moyenne et acceptent des risques supérieurs à la moyenne. En fait, ils sont convaincus que leurs entreprises subissent des risques et des contraintes supérieures à la moyenne des autres marchés non liés à l'assistance aux PSH [35]. Pour faire face à une telle situation, les entreprises sont stimulées à travailler avec la modularité de leurs produits, mais aussi au-delà. Ainsi, il est mis en relief la proposition ou l'idée de travailler avec une participation active sur le processus d'innovation (Recherche & Développement), aussi bien qu'avec une intensive coopération avec les utilisateurs finaux des PA [29], [30].

1.3 DEMARCHE DE LA RECHERCHE

La section de clôture de ce chapitre initial présente la démarche de recherche. Dans cette section nous nous concentrons sur la définition de la problématique de recherche, la question et les hypothèses de la recherche aussi bien que sur la présentation de la méthode de recherche. Ainsi les étapes, l'environnement, les outils et le contexte de la recherche sont détaillés.

1.3.1 Problématique et question de recherche

La discussion qui a eu lieu dans les sections précédentes nous a permis de formuler notre problématique de recherche dans le cadre de la conception de PA destinés aux PSH. Tout d'abord, nous nous sommes aperçus que le rôle de la personne déficiente a beaucoup évolué pendant les années et qu'il existe une nouvelle conscience des capacités et potentialités de ces personnes et du caractère éthique et social de leur inclusion sociale. Cette dite conscience comprend aussi une reconnaissance qu'il existe plusieurs facteurs qui empêchent les PSH d'exercer pleinement leur citoyenneté et leurs droits. Liées à cette problématique, deux lignes d'actions sont identifiées : d'une part les initiatives d'accessibilité et d'autre part l'utilisation de Produits d'Assistance (PA) pour soulager et compenser situations de handicap.

Cependant, nous avons identifié une problématique importante liée à l'acquisition, à l'acceptation et également aux processus de fourniture des PA. D'abord, du côté de l'utilisateur, la valeur perçue du PA est liée à la réponse aux besoins de la personne pour la réalisation d'activités et pour la participation sociale. Pour cela, les PA doivent être performants en termes fonctionnels et d'interactions avec la personne ; cela se produit dans une proportion faible des cas. Ensuite, du côté des fabricants, la satisfaction est liée à l'aspiration d'une bonne performance des processus internes et des résultats financiers compatibles avec les investissements réalisés. En revanche, ils sont placés dans un marché complexe où une énorme quantité d'acteurs peuvent avoir une influence sur le cours des leurs affaires, tels que les agences gouvernementales et de financement, les utilisateurs et leur entourage par exemple. Ainsi, il se vérifie que la survie d'une société dans le marché du handicap apparait plus compliquée que dans les autres marchés.

Une manière de faire face à ce problème peut être à travers la façon dont les PA sont conçus. Cela implique d'identifier et de respecter simultanément les exigences des utilisateurs et des fabricants de ces produits. Ainsi, ce travail de recherche a été proposé pour répondre à la question suivante :

COMMENT LES CONCEPTEURS PEUVENT ACCORDER LES BESOINS DES PERSONNES EN SITUATION DE HANDICAP (PSH) ET LES EXIGENCES DE FABRICATION DES PRODUITS D'ASSISTANCE (PA) DÈS LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE TELS DISPOSITIFS ?

De manière à répondre à cette question principale, quelques questions spécifiques permettent d'orienter les travaux de recherche, ses étapes et le choix des options méthodologiques. De plus, nous proposons quelques hypothèses visant à fournir une explication initiale à chaque interrogation. Les questions et les hypothèses sont listées dessous :

Question 1 – Comment le problème de la conception des PA est-il généralement approché par les concepteurs et quelles sont les conséquences de ces approches dans la définition des produits finaux ?

- Hypothèse 1.1 – Les PA et les produits conçus pour le grand public constituent deux groupes qui présentent des intersections faibles. Cette séparation fait que les avantages d'une approche collaborative entre ces groupes est un terrain à exploiter.

Question 2 – Quels sont les éléments ou quelles sont les caractéristiques qui doivent faire partie de la composition d'un modèle de référence à la conception de PA ?

- Hypothèse 2.1 – Un modèle de conception de PA doit considérer des aspects pratiques de manière à assurer l'efficacité du processus de conception et aussi les aspects philosophiques qui assurent que la conception va se dérouler tout autour des besoins des PSH.

Question 3 – Lors de la proposition d'un modèle de référence pour la conception de PA, comment la valeur perçue par les utilisateurs finaux peut-elle être mise au centre de la conception de ce type de dispositif ?

- Hypothèse 3.1 : Les PA conçus pour des PSH ayant des besoins évolutifs doivent garder un certain niveau d'évolution d'une partie de leur composition, comme par exemple des modules spécifiques évolutifs ou changeables.

Question 4 – Lors de la conception d'un PA, comment les concepteurs peuvent-ils s'assurer que les solutions répondent aux exigences d'efficacité des processus internes des fabricants, spécialement dans ce contexte qui demande une variété importante dans l'offre de produits ?

• Hypothèse 4.1 : Les produits d'assistance conçus et utilisés pour la réalisation de fonctions ayant un certain niveau de similarité peuvent partager des éléments de leurs structures tels qu'une plate-forme de base ou des modules spécifiques ;

• Hypothèse 4.2 : Penser la conception des produits en mélangeant des notions de produits dits grand public avec des notions de conception pour les PA ajoute de la valeur pour les utilisateurs finaux et une amélioration de la performance organisationnelle pour les fabricants de ces produits.

1.3.2 Méthode de recherche

Cette section est consacrée à la présentation de la méthode de travail utilisée dans la recherche réalisée. Une méthode scientifique est un ensemble de principes, de règles, d'étapes, ordonné de manière logique, qui constitue un moyen pour parvenir à un résultat [36]. La proposition de cette méthode de recherche s'initie par l'étape (1) de « Définition d'une problématique de recherche » choix d'une thématique de recherche et de la réalisation d'une revue de la littérature de manière à élaborer une problématique avec les objectifs et ses hypothèses. Ainsi, après avoir identifié les problèmes des PSH liés à l'utilisation des PA aussi bien que la complexité de la situation vécue par les fabricants de ces produits, nous avons décidé d'y faire face en nous concentrant sur l'étape de conception de ces dispositifs. Les étapes de la recherche et ses principales décisions et analyses sont présentées dans la Figure 2.

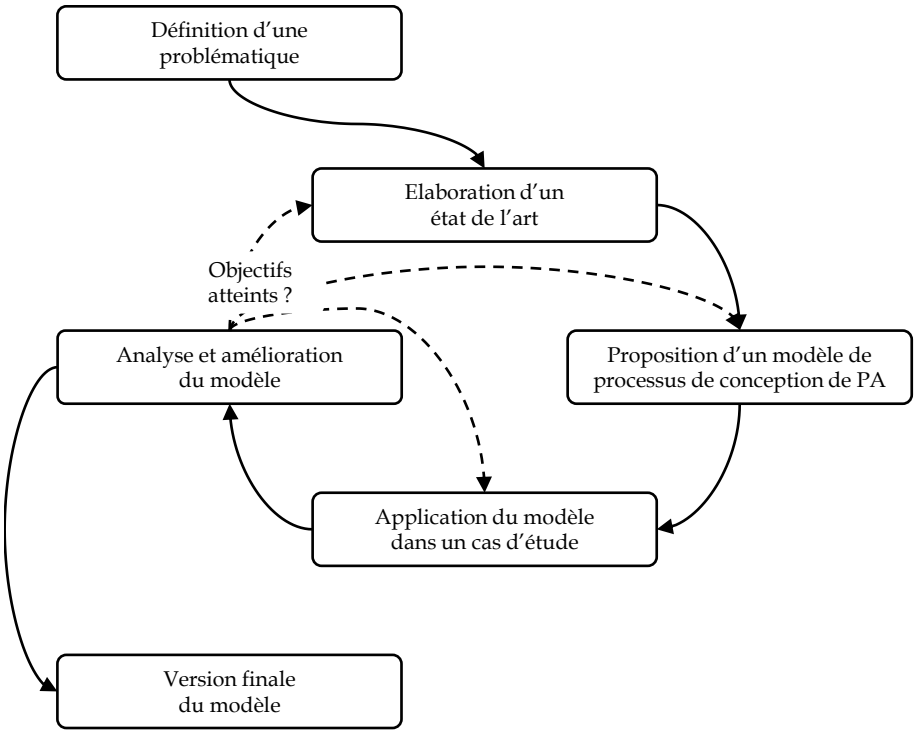


Figure 2 – Etapes de la méthode de recherche

L'investigation pour répondre aux questions listées dans la section ci-dessus a commencé par l'**Elaboration d'un état de l'art**, autrement dit, par une recherche bibliographique (étape 2 de la méthode de recherche) sur les éléments qui doivent être considérés pour la composition d'un modèle de

conception des produits, ainsi que les principales décisions à prendre lors de la conception d'un produit. Comme résultat de cette initiative, un cadre hiérarchique pour le processus de conception d'un produit a été organisé. Ce cadre est composé de principes de conception et de la démarche de conception incluant étapes et activités. D'un autre côté, nous avons aussi analysé les relations entre la conception des produits et les systèmes de fabrication.

Les études précédentes nous ont permis d'aboutir à une première **Proposition d'un modèle de conception de PA** (étape 3). Cette version possédait déjà un groupe de principes de conception aussi bien qu'une proposition des grandes étapes de conception et la stratégie de la démarche de conception. Ce modèle a été mis à l'épreuve à partir d'un **premier Cas d'étude** lié à la conception de PA d'aide à la mobilité personnelle, notamment les aides à la marche tels que les cannes de marche, les béquilles et plusieurs cadres de marche et déambulateurs (étape 4). Le cas d'étude a été concentré sur deux objectifs principaux, à savoir :

- Test et validation des propositions déjà faites, c'est-à-dire du modèle dans sa version initiale ;
- La définition d'un ensemble d'activités de conception en phase avec les principes et avec les objectifs centraux de la recherche.

Ainsi, comme résultat de ce premier cas d'étude nous avons confirmé quelques aspects de la proposition initiale et nous avons aussi raffiné les principes de conception, les étapes de conception et la façon de dérouler la démarche (étape 5). En revanche, nous avons vérifié le besoin de développer notre modèle dans quelques aspects, notamment sur l'amélioration de l'identification des dimensions de la valeur pour les PSH et la recherche de solutions alternatives pour le problème de conception pourrait être aussi améliorée. Ainsi, la définition d'un nouvel ensemble d'activités a demandé une phase d'Analyse et amélioration, qui a englobé des nouvelles révisions bibliographique et modélisation (voir Figure 2). Cela nous a permis d'identifier et de proposer des activités et/ou des méthodes pour mener les activités plus en lien avec les principes de conception et les objectifs de la recherche. Ainsi, le modèle a été révisé et des activités avec quelques outils ont été ajoutées.

Ensuite, **un deuxième Cas d'étude** a été mené pour évaluer et améliorer encore la proposition dans les étapes initiales de la conception (étape 6 de la méthode de recherche). Pour cela, nous avons utilisé de nouveau un contexte de mobilité personnelle à travers la conception de véhicules non-motorisés, tels que les fauteuils roulants, les cycles et des autres véhicules à propulsion humaine. Finalement, à la fin des activités d'expérimentation nous avons mis en forme **le modèle de conception final** (étape 7) incluant les principes de conception avec les étapes et les activités. Pour résumer, le Tableau 11 présente un panorama général de la méthode de recherche avec les principales décisions prises et les analyses faites lors de la réalisation de chaque étape.

Etapes de la recherche	Principales décisions et analyses
1. Définition d'une problématique de recherche	Choix d'une thématique de recherche Réalisation d'une revue de la littérature Elaboration d'une problématique de recherche
2. Elaboration d'un état de l'art	Composition d'un modèle de conception des produits Approches de conception de PA Relations entre la conception de produits et les systèmes de fabrication
3. Proposition initiale d'un modèle de conception de PA	Principes de conception Démarche de conception avec ses étapes
4. Application du modèle dans un cas d'étude pilote	Conception de PA dans le contexte de la mobilité personnelle : Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM)
5. Analyses et amélioration du modèle de conception de PA	Raffinement des principes de conception Approfondissement des étapes de conception avec les activités
6. Application du modèle amélioré dans un deuxième cas d'étude	Conception de PA dans le contexte de la mobilité personnelle : Véhicules non-motorisés (VNM)
7. Mise en forme de la version finale du modèle de conception de PA	Mise en forme du modèle de conception avec principes de conception et la méthode de travail avec les étapes et les activités

Tableau 11 – Principales décisions et analyses de chaque étape de la recherche

1.4 CONCLUSIONS SUR LA DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE

Dans ce premier chapitre nous avons eu un panorama de la question du handicap à partir de quelques facteurs historiques mais aussi à partir de l'actualité. Il a été composé à partir de chiffres relatifs à la question du handicap, de modèles de conception sur le handicap, y compris les manières de faire face à ce problème qui atteint de nombreuses personnes dans le monde. Ensuite, nous avons aussi travaillé aux définitions et aux classifications des PA et à la compréhension des PSH. Cette analyse nous a permis de parcourir le processus de livraison et d'acquisition d'un PA pour mieux comprendre l'acceptation et l'abandon de ces produits par les PSH. En outre, les caractéristiques du milieu industriel nous ont aussi montrés les difficultés du secteur en ce qui concerne le contexte de marché avec des consommateurs hétérogène, les règlements à suivre, les systèmes de remboursement, etc.

Finalement, cette analyse avait l'air d'être bien charpentée, en permettant la proposition de questions de recherche et de quelques hypothèses visant donner une explication initiale à ces interrogations. De

plus, une méthode de recherche a été proposée. Celle-ci s'initie par la définition de la problématique de recherche, qu'à son tour est suivie par l'élaboration d'un état de l'art. Ce dernier est présenté dans le chapitre suivant.

2 L'ETAT DE L'ART

Le deuxième chapitre de cette thèse présente l'état de l'art orienté sur trois axes liés au problème de recherche : la conception de PA destinés aux PSH. L'organisation de cette initiative est présentée dans la Figure 3. Tout d'abord, nous nous engageons dans une analyse des Processus de conception de produits (2.1) de manière à être capable de construire un modèle de référence pour la conception de PA. Nous étudions les approches utilisées pour la conception de produits : les aspects liés à la modélisation d'un tel processus, comme les types de modèles de conception et ses éléments constituants, et les caractéristiques des différents paradigmes de fabrication et ses approches de conception appropriées.

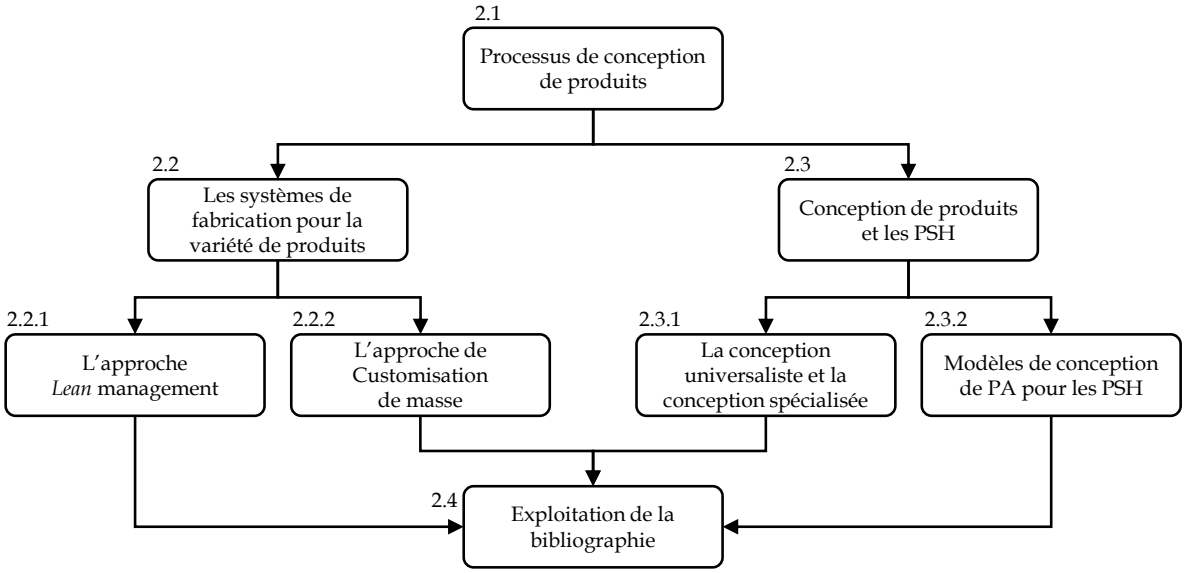


Figure 3 – L'organisation de l'état de l'art

Dans ce cadre, nous approfondissons les approches *lean* et de Customisation de Masse (CM) pour la fabrication et la conception de produits (2.2). Nous faisons ce choix car il est nécessaire trouver un équilibre entre volume et variété de produits dans ces deux approches, en harmonisant l'attention sur la valeur perçue par les utilisateurs et la valeur recherchée par les fabricants, sur les exigences d'efficacité. Ensuite, la dernière étape des études bibliographiques est centrée sur les approches normalement utilisées pour la conception de produits destinés aux PSH et ses conséquences sur la configuration des produits finaux (2.3). La dernière partie de ce chapitre montre quels aspects de la bibliographie sont utilisés pour le développement d'un modèle de conception de PA.

2.1 LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUITS

Dans ce travail le Processus de Conception de Produits est défini comme « la transformation d'une opportunité de marché et d'un ensemble d'hypothèses sur la technologie en un produit disponible à la

vente » [37]. Cette transformation a lieu à travers une chaîne d'activités qui nous appellerons indifféremment Processus de Conception (PC) ou de Processus de Développement de Produits (PDP).

La conception de produits est une activité critique des organisations en raison de son statut stratégique. En effet, les concepteurs font la liaison entre une entreprise et ses consommateurs, et ces travaux de conception ont des impacts importants sur la réussite, la survie et le renouvellement organisationnel [38]. Ainsi, pour mieux comprendre ce processus nous allons discuter les approches utilisées pour sa conduite, sa modélisation et l'interaction entre la conception et les processus de fabrication des produits.

2.1.1 Les approches utilisées pour mener la conception de produits

La littérature scientifique qui traite de la conception de produits ou des processus de conception est large et hétérogène. Une analyse du corps théorique a permis d'identifier au moins quatre disciplines qui traitent du sujet, à savoir : (1) le marketing, (2) le côté organisationnel, (3) en se concentrant sur la conception technique ou sur l'ingénierie et finalement (4) à partir du management des opérations ou des activités de conception [37]. Chacune de ces disciplines possède des différences conceptuelles sur la définition d'un produit, sur les paradigmes de représentation d'un produit et sur le processus de conception. En outre, des particularités sont aussi trouvées en termes de facteurs critiques de succès, sur les variables de décision et sur les indicateurs de performance typiques pour le processus de conception. Le Tableau 12 montre les principales différences entre les différents domaines.

Paramètres d'analyse	Marketing	Organisations	Ingénierie de Conception	Management des Operations
Perspectif du produit	Un produit est un paquet d'attributs	Un produit est un artefact résultant d'un processus organisationnel	Un produit est un assemblage complexe de composants qui interagissent	Un produit est une séquence de conception et/ou étapes du processus de production
Indicateurs de performance typiques	« Ajusté au marché » La part de marché, l'utilité pour l'usager et (parfois) le profit	« Succès du projet »	« Forme et fonction » La performance technique, l'innovation et (parfois) le coût direct	« Efficacité» Le coût total, le niveau de service, le délai de mise en œuvre et la capacité d'utilisation
Paradigme de représentation	L'utilité comme une fonction des attributs du produit	Pas de paradigme dominant	Les modèles géométriques et de performance technique	Le diagramme de flux, le modèle paramétrique de la performance
Variables de décision	Niveaux d'attributs du produit, prix	Structure de l'équipe de conception Encouragement	Taille, format, configuration, fonction, dimensions du produit	La séquence et le plan du processus de conception et le point de différenciation dans la fabrication

Facteurs critiques de succès	Le positionnement du produit et son prix	L'alignement organisationnel et les caractéristiques de l'équipe	Le concept et la configuration créative et l'optimisation de la performance	La sélection des matériaux et des fournisseurs, la conception de la fabrication et le management du projet

Tableau 12 – Différences entre les perspectives de la conception de produits dans la littérature [37]

Malgré ces différences présentes dans chaque axe de la littérature, toutes ces spécificités listées sont trouvées dans la pratique d'un projet de conception. Cela veut dire qu'un produit doit fonctionner sur les points de vue du marché ainsi que sur les aspects technologiques et qu'il faut veiller à ce que le processus de conception soit performant. Ainsi, dans ce travail de recherche focalisé sur la conception de PA destinés aux PSH, nous avons incorporé des éléments de chacune de ces visions selon leurs potentialités de réponse aux questions de recherche (Section 1.3.1).

Une autre manière de classifier la littérature sur la conception de produits peut être à travers trois courants issus d'études empiriques sur les projets de conception : (1) la conception d'un produit comme un processus rationnel, (2) la communication web et (3) un processus de résolution de problèmes. Sur la perspective d'un plan rationnel, le succès d'un processus de conception est le résultat « d'une planification minutieuse d'un produit de qualité supérieur pour un marché attractif, de l'exécution de ce plan par une équipe pluridisciplinaire, compétente et bien coordonnée, dont le fonctionnement se fasse à travers les bénédictions de la haute direction [38]. Deuxièmement, la communication web suppose que la communication avec des personnes extérieures peut augmenter la performance de l'équipe. Ainsi, cette perspective met en relief la communication et la connexion entre les parties prenantes du projet. Finalement, du point de vue de la résolution de problèmes, la conception doit être un équilibre entre une équipe de projet relativement autonome pour traiter la résolution de problèmes et l'implication d'un leader de projet « poids lourd » qui assure une solide gestion et une vision consensuelle sur le produit [38].

Alors que certains auteurs voient la conception par le prisme d'une discipline théorique, d'autres la regardent à partir de courants basés principalement sur des études empiriques. Différemment de ces groupes, d'autres auteurs ont tendance à décrire une évolution des approches pour l'organisation des activités de conception. Ceux-ci proposent que l'évolution de ces approches conserve un parallèle avec l'évolution des paradigmes des systèmes de fabrication [39]. L'objectif étant que les produits conçus gardent certaines caractéristiques pour assurer la performance de la fabrication. Cet aspect sera exploité plus tard dans ce document. Le Tableau 13 liste ces phases du processus de conception de produits en relation avec quelques approches typiques associées

Epoques de la conception de produits	Approches typiques
Développement séquentiel de produits	Développement traditionnel ou séquentiel Méthodologie de projet ou de conception

Conception intégrée de produits	Ingénierie concourante *Stage-gates* (jalon pour la révision d'une étape) Modèle de l'entonnoir
Nouvelles approches pour la conception intégrée de Produits	Développement *lean* Design for 6 sigmas Modèles de maturité Gestion du cycle de vie des produits

Tableau 13 – Epoques de la théorie de conception de produits et quelques approches typiques [39]

Le Développement Séquentiel de Produits émerge de la fabrication de masse et d'idées liées à la division et la spécialisation du travail et la recherche d'améliorations de méthodes de travail en entreprise. Comme conséquence, le processus de conception est une chaîne d'activités divisée en plusieurs domaines fonctionnels où l'excellence du produit serait le résultat de l'excellence de chaque étape [39]. Dans ce contexte, les principaux objectifs sont la réflexion sur les activités nécessaires pour la conception d'un produit et la recherche de la séquence la plus adaptée à ce cas. Dans ces conditions, il n'y a pas d'intégration entre la Recherche et le Développement (R&D) et la conception de produits. D'autres situations montrent que les produits sont conçus sans intégration entre les activités de conception. En général, cette organisation fonctionne bien dans certains milieux où les produits sont très standardisés et/ou dans les entreprises avec un petit mix de produits. Cependant, comme les exigences des clients ont augmenté par rapport à la production de masse, des nouvelles techniques ou approches pour la conception des produits ont été nécessaires [39], [40].

Ce nouveau contexte a fait émerger la Conception Intégrée de Produits, qui regroupe les méthodes utilisées par la plupart des entreprises aujourd'hui. La conception intégrée se caractérise par la conception parallèle de produits et de procédés utilisant des équipes collaboratives et multidisciplinaires. Les principaux avancements des approches intégrées sont l'amélioration de la compréhension des exigences du client ; l'utilisation de la stratégie de l'entreprise pour guider les activités de R&D et la conception de produits ; et la performance totale du PDP [39], [41]. Quelques approches caractérisent la conception intégrée, comme l'ingénierie concourante, l'utilisation de révision d'étapes ou de jalons (*stage-gates*) et le modèle de l'entonnoir. L'ingénierie concourante ou la réalisation parallèle d'activités de conception permet l'abréviation du temps de conception, la découverte et la correction de problèmes de manière plus proche de leurs sources et une intégration plus forte de l'équipe de conception, qui implique une meilleure facilité d'échanges d'informations et d'idées. A son tour, la révision de phases ou de jalons permet l'identification de problèmes et de résultats dans le processus de conception, en plus du partage de connaissances. Finalement, l'entonnoir sert de méthode de tri des idées qui circulent entre les membres de l'équipe de conception selon des critères de performance établis [39], [42].

Suite à l'apparition des initiatives de conception intégrée, les nouvelles approches pour la conception de produits ou pour l'organisation du PDP n'ont pas créé de changements ou de rupture dans le domaine. En effet, ils se caractérisent par des évolutions et des raffinements faits petit à petit avec

l'insertion de nouveaux éléments sur lesquels les concepteurs et les entreprises doivent se concentrer lors de la conception d'un produit. Quelques exemples dans ce sens sont le Développement *Lean*, le Design *for 6 sigmas*, les modèles d'évaluation de maturité du PDP, la Gestion du cycle de vie des produits etc. [39]. Un résumé comparatif des ces périodes est présenté dans le Tableau 14.

A partir des concepts et des classifications présentés sur les approches de conception de produits, nous pouvons nous concentrer sur la manière de présenter un PDP. Un processus de conception est une chaîne d'étapes et d'activités interdépendantes et parallèles dont les résultats sont prioritairement intangibles. De plus, la conception peut aussi se produire dans des endroits différents d'une entreprise ou même dans diverses installations présentes dans le monde. Ainsi, contrairement aux activités de fabrication et surtout d'assemblage de produits, il est difficile d'avoir une vision globale sur l'état des travaux ou de comment le processus se déroule.

Pour cette raison, des moyens pour la communication et pour le contrôle de l'équipe de conception sont nécessaires, de manière à prévoir et à corriger des problèmes relatifs à la qualité du travail de conception. Parmi les questions associées à la conception de produits, nous pouvons remarquer notamment son adéquation au marché et aux processus de fabrication, ainsi que les aspects de performance directement liés au temps et aux coûts consacrés à ce processus. Normalement, la modélisation du PDP peut servir de méthode pour contourner de telles contraintes, et ce sujet sera abordé dans la prochaine section.

2.1.2 Modélisation du processus de conception de produits

Un modèle peut être vu comme quelque chose qui fournit un support pour la réalisation d'une activité. Il joue un rôle de référence pour la reproductibilité de la méthode d'exécution d'une tâche ou pour la répétition de ses résultats. Ainsi, un modèle peut prendre la forme d'un objet physique, tel qu'un moule qui permettre la fabrication de plusieurs pièces identiques ou il peut être une représentation schématique d'un processus ou d'une démarche. Dans notre travail, les modèles de référence pour la conception de PA pour les PSH sont abstraits et servent comme un guide pour le PDP.

Le modèle de référence est un modèle applicable dans un sens large et général par des différentes entreprises. Il est constitué d'un cadre ou squelette qui organise le flux de la conception de manière normalisée, en combinant les points forts des différentes approches théoriques de la conception. L'existence d'un modèle de référence pour le PDP fournit une vision consensuelle et unifiée du processus et met à niveau les connaissances disponibles parmi les acteurs qui participent à la conception. Les schémas généraux servent de base pour la construction de modèles formulés pour un cas spécifiques. Leurs adaptations aux contextes individuels sont basées sur des critères comme le niveau d'innovation du produit par rapport aux autres déjà travaillés par l'entreprise ou relativement au niveau de complexité du produit à concevoir [39], [40], [43].

Nous avons listé à la fin de la section ci-dessus quelques particularités des PDP qui leur donnent une complexité supérieure aux processus de fabrication en termes de coordination et de contrôle de ses activités. Les échanges fréquents et itératifs, le contenu dépendant de la technologie et de l'état d'avancement du projet en font partie. La modélisation du processus de conception est proposée comme un mode pour contourner de telles contraintes. Toutefois, cette modélisation possède aussi des limitations méthodologiques intrinsèques.

Epoques de la CP	Conception Séquentielle		Conception Intégré			Nouvelles approches de la Conception Intégrée			
Approches typiques	**Développement traditionnel**	**Méthodologie de projet**	**Ingénierie concourante**	**Jalons de vérification**	**Modèle de l'entonnoir**	**Développement *Lean***	**Design for 6 sigmas**	**Modèles de maturité**	**Gestion du cycle de vie**
Gestion avancée inter-projet									x
Gestion du cycle de vie						x			x
Amélioration continue et maturité						x		x	
L'évaluation de la technologie et de l'optimisation des produits						x	x		
Leadership à travers la connaissance						x			
Stimulus à l'innovation						x			
Intégration stratégique commerciale et technologique					x	x	x	x	x
Systématique d'approbation d'étapes				x	x	x	x	x	x
Adoption de l'approche des business processus				x	x	x	x	x	x
Parallélisme entre les activités			x	x	x	x	x	x	x
L'intégration d'une liste des techniques, méthodes et principes			x	x	x	x	x	x	x
Intégration avec les fournisseurs			x	x	x	x	x	x	x
Co-localisation			x	x	x	x	x	x	x
Chef de projet « poids lourd »			x	x	x	x	x	x	x
Equipes multidisciplinaires			x	x	x	x	x	x	x
L'utilisation de méthodes de conception systématiques		x	x	x	x	x	x	x	x
Structures fonctionnelles	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tableau 14 – Caractéristiques des périodes de la conception de produits et ses approches [39]

Parmi elles, nous pouvons souligner la modélisation trop générique pour un type spécifique de processus, le manque de terminologies et de métriques de performance communes, etc. Une des origine de ces limitations est que les modèles sont conçus par et pour les spécialistes de l'informatique, et non par et pour le gestionnaires de processus d'affaires [44]. En outre, il est aussi important de connaître les types de modèles qui peuvent être proposés aux concepteurs comme support pour leurs activités, parce que chaque modèle a ses avantages et ses inconvénients.

La littérature classe les modèles de conception suivant différents critères, à savoir : (1) la façon dont ils sont structurés et/ou présentés ; (2) comment ils font face au problème de conception ; et (3) la division temporelle des sous-divisions du processus. Selon le critère de structuration, les approches peuvent être abstraites, analytiques et procédurales. En revanche, conformément à la manière de faire face à la conception, ils sont problème-orientées ou solutions-orientées. Finalement, en termes de division temporelle, ils sont classifiés entre les modèles basés sur les étapes ou basés sur les activités [45], [46].

Concernant le critère de la structuration, les **modèles abstraits** décrivent la conception à un haut niveau d'abstraction, sans offrir de supports ou d'outillages pour l'orientation de la conception. En d'autres termes, le PDP n'est pas expliqué en détail et il est subdivisé en un petit nombre d'étapes ou d'activités. De plus, les méthodes classifiées dans ce type d'approche ne décrivent pas les techniques spécifiques qui pourraient être utilisées pour parvenir à une solution. Normalement, le processus est divisé en des étapes d'analyse, de synthèse et d'évaluation [45].

Les **modèles procéduraux** sont plus concrets dans leur nature, en se concentrant sur un aspect spécifique du projet de conception. Comparativement aux approches abstraites, ils ont un nombre plus grand de phases et se concentrent sur un public spécifique, tel qu'un secteur de l'industrie par exemple. Les modèles procéduraux peuvent être divisés en deux types [45], [47], [48] :

- Les modèles descriptifs – ils sont basés sur les expériences de conception issues de l'industrie. Les processus observés dans la pratique sont la base pour l'élaboration de textes qui vont servir de source pour l'éducation et l'entrainement des nouveaux concepteurs. Le développement de ce type de modèle est basé sur l'analyse du processus mental du concepteur. Cela se fait en regroupant des données sur la façon dont ils conçoivent et ensuite en élaborant des modèles de leur processus cognitif. Pour l'analyse de la façon de concevoir, les concepteurs sont stimulés à penser à haute voix lors d'une activité de conception et leur travail est observé à travers un protocole précédemment élaboré. Ensuite, un modèle mental est créé de manière à décrire, à simuler, ou à reproduire le processus mental du concepteur, son comportement et ses compétences. Ces modèles gardent une forte relation avec les abstraits, puisqu'ils ne proposent pas beaucoup de détails et ne prescrivent pas des outils pour l'activité de conception. De plus, les analyses sont très centrées sur le travail individuel de conception, alors que la conception est un processus collectif dont les échanges personnels et de connaissance sont très présents ;

- Les modèles prescriptifs – ils sont le résultat de la distillation des meilleures pratiques destinées à améliorer l'efficacité du projet de conception. Ces modèles ciblent généralement un public, comme les étudiants, les ingénieurs concepteurs ou les gestionnaires, et/ou un domaine comme une industrie ou une discipline comme la mécanique ou l'électronique. De telles approches prescriptives peuvent fournir des informations sur « comment le processus de conception doit être » ou des attributs qu'en produit en cours de conception doit avoir. En effet, étant plus concentrés sur la façon de procéder, presque tous les modèles prescriptifs proposent une approche progressive ou une stratégie exprimée dans une séquence d'étapes ou d'activités [48]. Les modèles prescriptifs prennent ainsi la forme de lignes directrices, d'étapes ou de techniques. De plus, si ces directives sont appliquées correctement, elles sont censées améliorer les performances du produit final et du processus de conception [45].

En effet, la distinction entre les modèles descriptifs et les modèles prescriptifs n'est pas très claire dans la pratique de conception ou même, elle n'est pas très utile. Les deux types de modèles sont influencés par les projets, qui a son tour vont, eux aussi, être influencés par la proposition de modèles formels : comment procéder à la conception et comment dérouler la conception. Cependant, de telles approches systématiques sont vues comme utiles dans certaines conditions, à savoir : lorsque les conséquences de se tromper sont graves ; lorsque la probabilité de se tromper est élevée ; et/ou lorsque le problème est complexe, caractérisé par de nombreuses variables qui interagissent [45], [49].

Finalement, les **modèles analytiques** sont utilisés pour décrire des instances particulières du produit en cours de conception. Cela peut être une représentation utilisée pour décrire quelques aspects du projet sous forme de techniques, de procédures ou d'outils informatiques. Ces modèles représentent le produit de manière à faciliter sa compréhension ou aussi pour l'amélioration du processus de conception. En sachant que le produit est un système complexe, l'approche analytique propose sa décomposition en sous-systèmes qui le composent ; ensuite les relations entre telles ou telles parties et les entrées et les sorties du système complet sont indiqués [45], [50]. Dans notre compréhension, les modèles analytiques améliorent le processus de conception à travers leur méthode de décomposition et d'intégration du produit en regardant les liaisons entre ses composants. Cela veut dire que cette approche n'est certainement pas une vision globale sur le processus, mais sur le produit en cours de conception.

Ensuite, relativement à la manière de faire face au problème de conception, les **modèles solutions-orientés** commencent à partir d'une solution initiale qui est analysée et modifiée dans un processus itératif jusqu'à l'aboutissement d'une solution considérée comme satisfaisante. La plupart de modèles abstraits sont considérés comme orientés à partir d'une solution initiale pour la conception. D'autre part, dans les **modèles problème-orientés**, les efforts sont mis sur l'abstraction et sur la définition et analyse du problème de conception. La solution prend son origine d'un processus systématique de compréhension du problème et de proposition de solutions jusqu'au développement d'une solution

adéquate. En général, les modèles problème-orientées sont plus détaillés que les modèles solutions-orientés ; ainsi ils sont normalement classés comme des modèles procéduraux descriptifs [45], [48].

Finalement, selon le critère de la division temporelle des phases du projet, les **modèles basés sur les étapes** et ceux **basés sur les activités** se diffèrent à partir du niveau de détails et de l'échelle de temps par lesquels ils sont analysés. En effet, une étape est une longue période de temps qui se produit juste une fois dans le processus et qui est centrée sur l'état d'évolution du produit en conception, comme le rassemblement d'information sur le contexte de conception, la définition du concept du produit, les spécifications ou même le produit physique. A leur tour, les activités sont généralement placées à l'intérieur des étapes, en ayant une nature cyclique. Une activité est l'exécution de la conception elle-même, comme l'identification des besoins, une analyse d'alternatives de solution, la définition de l'architecture du produit, etc. [45], [46], [48]. La Figure 4 illustre en ordonnée quelques activités existantes dans la conception et en abscisse quelques étapes classiques. Dans la pratique, la plupart des modèles combinent les deux manières de diviser le processus. Par ailleurs, l'image montre les modèles problème-orienté, à travers le chemin qui passe par les points 1, 2, 3 et 4 ; ou solution-orienté, à partir du chemin qui passe par les points 1, 2 et 4 de la même figure [48].

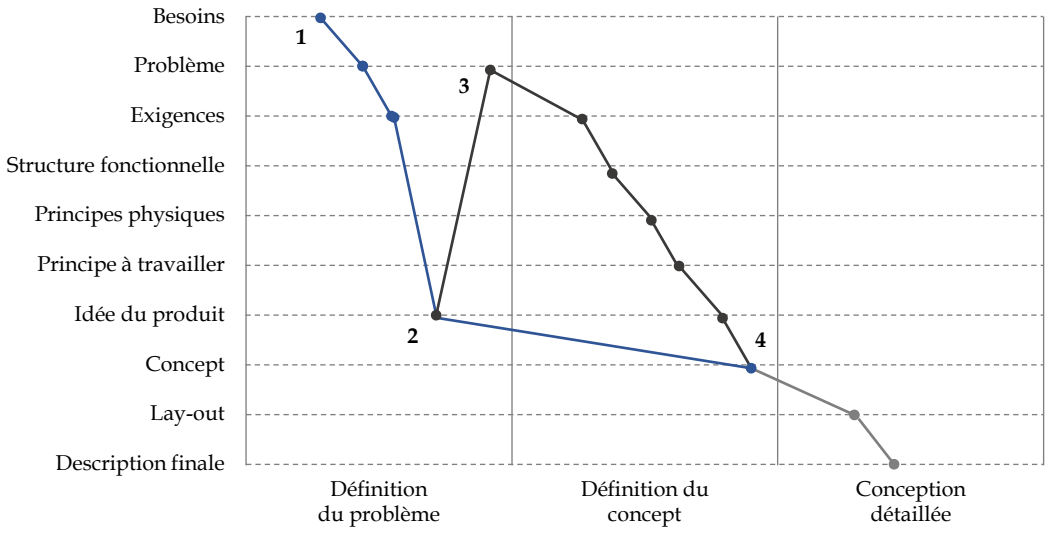


Figure 4 – Les manières d'attaquer le problème de conception et les divisions du PDP [48]

Dans notre recherche, contextualisé sur la conception de PA pour les PSH, les modèles procéduraux prescriptifs se montrent plus adéquats parce qu'ils présentent une gamme de supports au concepteur plus large que celle des autres catégories. Ensuite, nous nous plaçons sur les modèles problème-orientés car ces modèles permettent de se focaliser sur une large compréhension du problème avant de proposer des solutions pour la conception. Finalement, concernant la division temporelle, les modèles basés sur les étapes et sur les activités nous semblent plus adéquats pour la proposition d'un modèle pour la conception de PA.

Après avoir pris connaissance des classifications des modèles de conception de produits, la question qui émerge maintenant est : quels sont les éléments qu'un modèle doit contenir ? Certains auteurs analysent la littérature et suggèrent certains composants avec différents niveaux de détails qui seraient présents sur les méthodes de conception [45], [46], [48], [51]–[54]. Ces éléments sont réunis dans un modèle générique pour la conception de produits présenté en Figure 5.

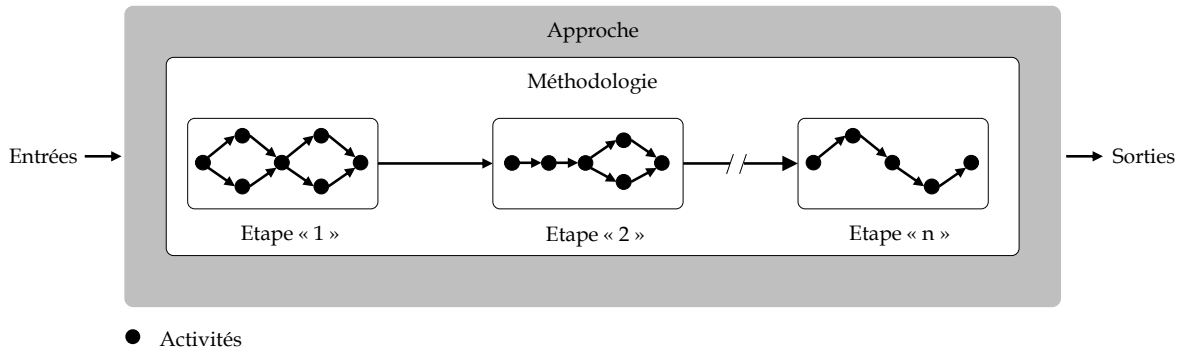


Figure 5 – Modèle générique pour la conception de produits

Au niveau *Approche* se trouvent les principes de conception. Ils constituent les lignes directrices du processus ou la philosophie de conception qui détermine comment l'effectuer. Les principes jouent également le rôle de critères d'évaluation des résultats de la conception. Par la suite, dans un niveau inférieur nous trouvons la *Méthode*, qui est définie comme un cadre pour le flux de conception divisé en *étapes* et/ou des activités organisées pour la stratégie de la démarche. [46], [51]. La plupart des modèles sont organisés à travers une stratégie dite « étape par étape », comme dans la Figure 5. Toutefois, il est possible de trouver d'autres stratégies pour le déroulement de la démarche, à savoir : itératives, cyclique, décomposition, et abstraction/concrétisation [46], [48].

Comme nous l'avons déjà explicité, une étape est une subdivision de la méthode de conception qui couvre une longue période de temps et se base sur l'état du produit en cours de conception. Normalement, une étape se produit juste une fois dans le processus (Figure 6a). En revanche, les activités de conception, représentées par les cercles noirs dans la Figure 5, sont les actions ou les tâches des individus de l'équipe, directement liées à la conception du produit. Notamment, une activité peut se produire à plusieurs reprises pendant le processus (Figure 6b).

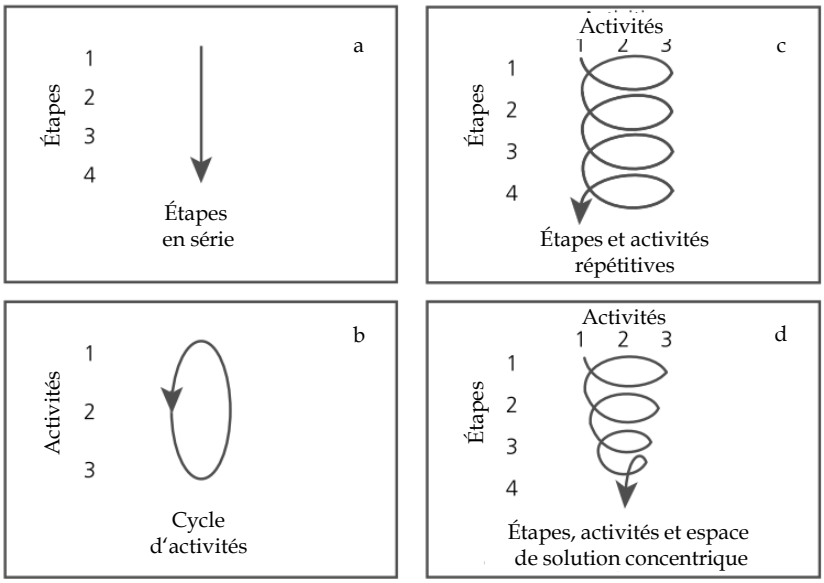


Figure 6 – Typologies de modèle de processus de conception [48]

Ensuite, les Figure 6c et Figure 6d nous montrent, respectivement, l'association entre étapes et activités lors de la conception et le rétrécissement de l'espace de solution à partir de l'élimination graduelle d'options ou d'idées pour le produit en conception [46], [48].

Il existe plusieurs critères qui déterminent les étapes et les activités de la méthode de conception, aussi bien que la stratégie pour exécuter le processus. Les critères normalement utilisés sont le niveau d'innovation du projet et la complexité du produit, y compris son type de technologie [39], [43]. En général, au moins trois étapes sont identifiés dans la plupart des modèles : la définition du problème (rassemblement d'exigences des utilisateurs), la recherche de la solution (définition du concept) et la sélection des solutions dans la conception détaillée (description complète du produit) [48], [55].

Quelques chercheurs ont analysé et comparé des différents modèles de conception dans le domaine de l'ingénierie mécanique et ils ont listé quelques étapes considérées comme consensuelles entre les modèles analysés, à savoir : l'établissement des besoins, l'analyse des tâches, l'étude conceptuelle, la concrétisation de la forme, la conception détaillée et l'implémentation [56]. Bien que cette liste semble différente des trois étapes citées précédemment, le flux qui commence avec l'identification de besoins jusqu'à la matérialisation du produit reste similaire.

En outre, d'autres chercheurs ont utilisé cette liste d'étapes pour analyser des modèles de conception dans les domaines comme l'ingénierie mécanique, le design industriel, l'ingénierie des systèmes, l'architecture, la conception de logiciels, l'ingénierie des services, la mécatronique, les systèmes de produits-service (SPS) et aussi des modèles transdisciplinaires. Ils ont vérifié quelques similarités entre les modèles, surtout dans les étapes les plus abstraites de la conception. Toutefois, un modèle consensuel entre de telles disciplines n'est pas vu comme un support suffisant d'une conception interdisciplinaire. Les auteurs justifient leur opinion en argumentant que le niveau d'abstraction nécessaire pour être

indépendante d'une discipline est trop élevé pour qu'un modèle puisse fournir un soutien efficace [53].

En revanche, un autre regard sur le PDP peut être apporté à travers le prisme des prises de décisions. Même s'il existe une grande variété de produits et de technologies, les décisions prises au cours de la conception gardent une certaine similarité. Dans cette perspective, les décisions peuvent être distinguées en deux groupes : celles prises au sein d'un projet et celles prises de manière transversale à plusieurs projets [37]. Le Tableau 15 présente quelques décisions prises au cours d'un PDP divisé en étapes de développement du concept, de conception de la chaîne d'approvisionnement, de conception détaillée, de test de performance et validation, de déclanchement de la production et lancement du produit. Les décisions prises entre plusieurs projets ne sont pas considérées dans notre travail de recherche.

En outre, l'approche de conception avec ses principes est aussi définie selon quelques paramètres que nous souhaitons mettre en évidence. Dans le contexte de notre recherche, l'objectif principal pendant la conception de PA est d'accorder les besoins des PSH avec les exigences des fabricants de ces produits. Ainsi, les prochaines sections de ce chapitre seront dédiées à l'investigation sur les éléments à prendre en compte lors de l'élaboration du modèle de référence pour le PDP.

Étape de conception	Décisions
Développement du Concept	Développement du concept général Quels sont les valeurs cibles des attributs du produit, y compris le prix ? Quel est le concept central du produit ? Quelle est l'architecture du produit ? Quelles variantes du produit seront offertes ? Quels composants seront partagés à travers les variantes du produit ? Comment seront les attributs physiques et le design industriel du produit ? Ergonomie et esthétique
Conception de la chaîne d'approvisionnement	Quels composants seront conçus et lesquels seront sélectionnés ? Qui va concevoir les composants ? Qui va produire les composants et faire l'assemblage du produit ? Quelle est la configuration de la chaîne d'approvisionnement physique, y compris le point de découplement ? Quel type de processus sera utilisé pour assembler le produit ? Qui va développer la technologie et l'équipement du processus d'approvisionnement ?
Conception Détaille	Quelles sont les valeurs des paramètres clés pour le design ? Quel est la configuration des composants et la séquence d'assemblage ? Quel est le design détaillé des composants, en prenant en compte le matériel et le processus de sélection ?
Test de performance et validation	Quel est le plan de prototypage ? Quelles technologies doivent être utilisées pour le prototypage ?
Déclanchement de la production et lancement du produit	Quel est le plan pour les tests de marché et pour le lancement ? Quel est le plan pour la montée en production ?

Tableau 15 – Décisions prises lors de la conception d'un produit [37]

2.1.3 Les systèmes de fabrication et la conception de produits

Le processus de conception de produits doit être mené avec un regard sur les impacts que les décisions ont sur les autres activités d'affaires, soit en amont, soit en aval. Parmi ces activités, nous pou-

vons lister la fourniture de matière première, l'intégration des composants au produit et leur impact sur sa fonctionnalité, les activités d'achat, la vente et la viabilité économique des distributeurs, etc. D'autre part, nous pouvons aussi nous concentrer sur les processus de fabrication et assemblage du produit.

L'influence des paramètres des produits sur la performance de la fabrication doit être analysée sous plusieurs aspects comme le temps pour la réalisation d'opérations, le besoin d'entrainement des ouvriers et leur courbe d'apprentissage, le niveau de qualité attendu pour le produit final, le besoin d'acquisition de nouvelles technologies, la réorganisation des ateliers de production ou des lignes d'assemblage et même la construction de nouvelles usines pour la fabrication des nouveaux produits.

Par ailleurs, dans la plupart des cas les produits sont introduits sur des installations existantes. Pour cette raison le produit doit être conçu pour répondre autant que possible aux caractéristiques de ce cadre existant. Ainsi, pour éviter de grands impacts sur la fabrication, les changements dus à l'introduction de nouveaux produits devraient se concentrer, quand c'est possible, au niveau des opérations [57], [58]. Cela ne signifie pas que les possibilités d'innover ou de profiter des opportunités de marché devraient être limitées par des contraintes de fabrication. Toutefois, les impacts doivent être prévus et une solution de compromis est normalement proposée.

Cette discussion clarifie l'existence de conséquences entre les décisions prises lors de la conception d'un produit sur les systèmes de fabrication. Ainsi, nous nous concentrons maintenant sur la compréhension des différents paradigmes de fabrication et leurs caractéristiques. Cette analyse nous permettra de visualiser les types de système de fabrication plus adéquats pour la fabrication de PA pour les PSH. En général, nous pouvons dire que le marché de PA prend la forme d'un marché de niche où se trouve une grande demande pour une variété de produits de façon à cibler les situations personnelles, qui sont différentes entre elles et aussi évolutives. De plus, chaque cadre ne constitue pas un grand potentiel en termes de volume de consommation [6]. En ce sens, la Figure 7 montre la relation entre volume et variété dans les différents paradigmes de fabrication qui ont émergé à partir de la Révolution Industrielle (entre 1789 et 1848). Chaque paradigme possède sa tranche chronologique, son système de fabrication et son modèle d'affaires [59].

Avant l'arrivée de l'industrialisation, dans la Fabrication Artisanale (*craft production*, en anglais), les produits étaient fabriqués selon les exigences du client, suivant leur commande et presque sans restriction. Ce paradigme peut être caractérisé par une situation de fabrication où « des travailleurs qualifiés, en utilisant des machines simples, faisaient exactement ce que le client avait payé pour ; un produit à la fois » [60]. Même pour des produits complexes, chaque client pourrait constituer un nouveau projet avec les conséquences en termes de changement des opérations de fabrication. Ces caractéristiques de ce type de fabrication ont comme résultat la possibilité de fabrication d'une large variété de produits de bonne qualité, mais avec un coût élevé et un faible volume final. Le paradigme de la fabrication artisanale est encore appliqué aujourd'hui à des marchés très limités et exclusifs [61].

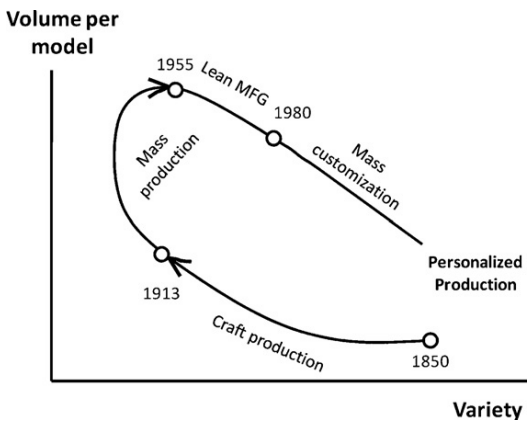


Figure 7 – Evolutions des paradigmes de fabrication [60]

Ensuite, à partir de la Révolution Industrielle, plusieurs changements ont été réalisés dans le mode de fabrication des produits, aussi bien que dans la relation entre les fabricants et leurs clients. Tout d'abord, les utilisateurs n'ont pratiquement plus que des propositions de produits déjà conçus et/ou déjà fabriqués. Nous observons ainsi une diminution de leur influence sur les projets de conception des produits. Après cela, du point de vue de la fabrication, l'insertion de machines plus puissantes, de la division et de la spécialisation du travail ont augmenté l'efficacité de la production et du volume de produits fabriqués, en permettant l'obtention d'économies d'échelle et de la réduction des prix finaux pour les clients.

De plus, quelques facteurs ont poussé ces changements vers l'aboutissement du paradigme de Fabrication de masse (*mass production*, en anglais). Parmi ces aspects, du côté de la fabrication, nous pouvons lister l'interchangeabilité des pièces, le management « scientifique » du travail et l'utilisation des lignes d'assemblage de produits. En revanche, pour obtenir des niveaux d'efficacité de fabrication élevés, une condition indispensable était une forte réduction de la variété de produits proposés aux utilisateurs. Le but principal de ce système a été la fabrication des produits standardisés à grande échelle, permettant la réduction des prix et une énorme augmentation de la productivité. Cependant, quand les exigences de la fabrication sont au centre du système, la variété et les préférences des clients sont laissés de côté [61], [62]. Dans certains secteurs industriels, la fabrication de masse est encore utilisée, spécialement lorsque la standardisation et les prix bas sont facteurs de compétitivité et que les usagers sont satisfaits vis-à-vis du rapport qualité et prix.

Ensuite, quelques limitations de la fabrication de masse ont poussé le développement d'un nouveau paradigme de fabrication : le *Lean Manufacturing*. Parmi les limitations de la fabrication de masse nous pouvons citer la fabrication de grands lots de pièces qui donne lieu à des stocks importants. De tels lots prennent de la place, immobilisent du capital et peuvent aussi à cacher quelques problèmes de fabrication. En outre, un tel système était incapable de tenir compte des préférences des consommateurs pour la diversité de produits [63]. Le *lean manufacturing,* paradigme d'origine japonaise, a attiré le regard du monde corporatif à partir du succès obtenu par la Compagnie Toyota Motors, notamment en ce qui concerne la part de marché ou le chiffres d'affaires de l'entreprise. Il a été identifié que le *lean*

manufacturing était une des bases de ses résultats. Il se concentre sur l'optimisation de la chaîne de création de la valeur d'une organisation, sur l'élimination des activités qui n'ajoutent pas de la valeur pour les clients (les gaspillages) [62], [64]. En outre, il se vérifie aussi que la mise en place de telles directives est réalisée à travers quelques initiatives ou quelques outils de gestion tels que le *Just-in-time*, le *Kanban*, la fabrication cellulaire, le changement rapide d'outil et ainsi de suite [59]. Le développement du mode *lean* pour gérer la fabrication et les autres processus organisationnels était une réponse au contexte du marché japonais entre les années soixante et les années quatre-vingt. A cette époque, le marché nippon demandait des faibles volumes d'une grande variété de produits pour satisfaire les clients. En prenant en compte cette relation entre volume et variété, une autre façon de voir la fabrication *lean* est la placer dans le milieu entre les fabrications artisanales et de masse [63]–[66].

En suivant l'évolution des paradigmes de fabrication, la Customisation de Masse (CM) apparaît. Cette initiative a pour finalité la fabrication d'une variété plus importante de produits offerts aux consommateurs. Son opérationnalisation se fait, parmi des autres aspects, par l'architecture modulaire d'une famille de produits, par les systèmes de fabrication reconfigurables et par le retardement de la différenciation du produit. Grâce à l'architecture modulaire, les produits sont conçus pour les changements, ce qui permet la variété des produits selon les besoins, désirs ou goûts des usagers. Ainsi, ce système est bien ajusté au type de marché qui demande une grande variété de produits, mais avec un volume moyen de fabrication. Ensuite, dans le cadre de la CM, les concepteurs ont besoin de prévoir le point de retardement où les différents produits prennent leurs caractéristiques finales (point de décuplement). De plus, dû à la quantité d'options proposées aux clients, il existe une augmentation des coûts de conception de produit. En ce qui concerne le système de fabrication, il doit être flexible aux reconfigurations rapides pour répondre à la variété de produits à fabriquer [59], [61].

Le Tableau 16 présente un résumé comparatif entre la fabrication de masse, le *lean manufacturing* et la CM suivant les critères de *focus*, objectif du modèle, ses caractéristiques principales, y compris le marché, les stratégies de produit et commerciales. Nous pouvons vérifier à partir du tableau un changement de focus des systèmes de fabrication : de la stabilité opérationnelle vers une réponse plus pointue aux besoins des clients. En même temps, nous voyons du côté du marché, une augmentation du niveau d'exigences et une hétérogénéité plus importante des groupes de clients.

Variables	Fabrication de Masse	*Lean Manufacturing*	Customisation de Masse
Focus	L'efficacité par la stabilité et le contrôle	La réduction des gaspillages et l'amélioration des services	Variété et personnalisation grâce à la flexibilité et la réactivité
Objectif	Développement, production, commercialisation et fourniture de biens et services à des prix suffisamment bas pour que presque tout le monde puisse l'acquérir	L'élimination du gaspillage, le flux de valeur et la perfection par l'amélioration continue	Fourniture de produits variés qui répondent aux besoins spécifiques du client afin d'augmenter ses intérêts avec le maintien de prix bas
Caractéristiques principales	Une demande stable et large, des marchés homogènes, de longs temps de conception et des produits avec un long cycle de vie	Éviter des coûts élevés, des équipes de travailleurs qualifiés et polyvalents, machines automatisées flexibles pour harmoniser volumes et variété de produits	Demande fragmentée, niches hétérogènes, des longs temps de conception de produits, courts cycles de vie des produits

Marché	Demande > Approvisionnement	Demande > Approvisionnement	Demande < Approvisionnement
Conditions	Des marchés homogènes	Des marchés homogènes	Des marchés hétérogènes
Produits	Petite variété et longue durée de vie des produits	Variété moyenne et longue durée de vie des produits	Haute variété et courte durée de vie des produits
Stratégie commerciale	Ignorer les marchés de niche (économies d'échelle)	Economies d'échelle	Vendre aux marchés de niche (économies de gamme)

Tableau 16 – Comparaison des modèles de fabrication : masse, *lean* manufacturing et CM [59]

Le prochain défi organisationnel en termes de paradigme de la production est la Personnalisation (*Personalization*, en anglais). Dans ce contexte, le consommateur demande un produit vraiment adapté à ses attentes, et dans certains cas, ils peuvent même participer aux activités de conception des modules ou du produit complet. Dans le contexte de la personnalisation, l'architecture du produit est ouverte, elle comporte des modules communs partagés à travers toute la plate-forme de produit, des modules changeables choisis par les clients, et des modules permettant aux clients de créer et de designer. La matérialisation du produit est permise par l'intermédiaire de technologies flexibles et aussi par les nouvelles technologies de fabrication comme la fabrication additive [59], [61].

En considérant les caractéristiques des paradigmes de fabrication listés, notamment la fabrication de masse, le *lean manufacturing*, la CM et la personnalisation totale de produits, notre contexte de conception de PA pour les PSH intègre quelques particularités du binôme conception - fabrication. Dans ce contexte, une relation avantageuse entre volume et variété pour cibler les besoins des clients avec une bonne performance de la fabrication peut se faire avec l'utilisation des approches *lean* et CM.

Toutefois, le choix de ces approches pour faire face à notre problème de recherche n'est pas limité à cette relation. En effet, d'autres facteurs comme l'identification des besoins des usagers et l'utilisation d'un certain niveau de standardisation sont vus comme d'importantes contributions au contexte du handicap. Ainsi, notre discussion dans ce chapitre se poursuivra avec l'approfondissement de la compréhension de ces approches dans les aspects de la conception des produits et aussi de leur fabrication.

2.2 APPROCHES POUR LA CONCEPTION ET LA FABRICATION D'UNE VARIETE DE PRODUITS

Cette section se concentre sur l'analyse des approches managériales utilisées dans les contextes organisationnels qui demandent un équilibre entre volume de produits fabriqués et sa variété de manière à répondre des attentes du marché, notamment des besoins des clients. Ainsi, nous allons concentrer notre étude sur (2.2.1) le *lean* management et sur (2.2.2) la Customisation de Masse (CM).

2.2.1 Le *Lean* Management

L'approche *lean* pour le management des entreprises découle de pratiques utilisées dans plusieurs aspects ou fonctions organisationnelles de la Compagnie Toyota Motors, société japonaise de

l'industrie automobile. Le *lean* faisait que les produits Toyota arrivaient sur le marché avec une qualité supérieure et un prix compétitif vis-à-vis les concurrents. De cette façon, la Toyota a attiré le regard du monde des affaires, ainsi que celui des scientifiques de domaines comme le management, l'ingénierie et l'économie, qui souhaitaient identifier les facteurs ou les pratiques qui ont conduit cette société a une situation de succès. Initialement, les publications sur ce sujet étaient concentrées sur le « Système Toyota de Fabrication », ce qui a donné l'impression de que la fabrication était la seule clé des résultats de la Compagnie Toyota. Toutefois, le *lean* est vu actuellement comme une philosophie d'affaires (*business philosophy*) avec des applications dans tous les aspects d'une société, y compris la conception de produits [62], [67].

Le *lean* groupe des pratiques managériales qui visent « la satisfaction des clients en cherchant 100 % de valeur ajoutée et l'élimination de tous les gaspillages par le développement et l'implication de tous les employés » [68]. Ainsi, quelques auteurs ont proposé leur propre vision globale ou de haut niveau de ce qui est le *lean*. Par exemple, Liker [69] propose « la voie *lean* » (*the lean way*) où sont listés 14 principes pour l'implantation de la philosophie *lean,* divisés en quatre catégories, à savoir : philosophie ; processus ; les personnes et les partenaires ; et la résolution de problèmes. D'un autre côté, Womack et Jones [64] ont proposé une liste de cinq principes listés dans la Figure 8 qui constituent des lignes directrices pour permettre une implémentation.

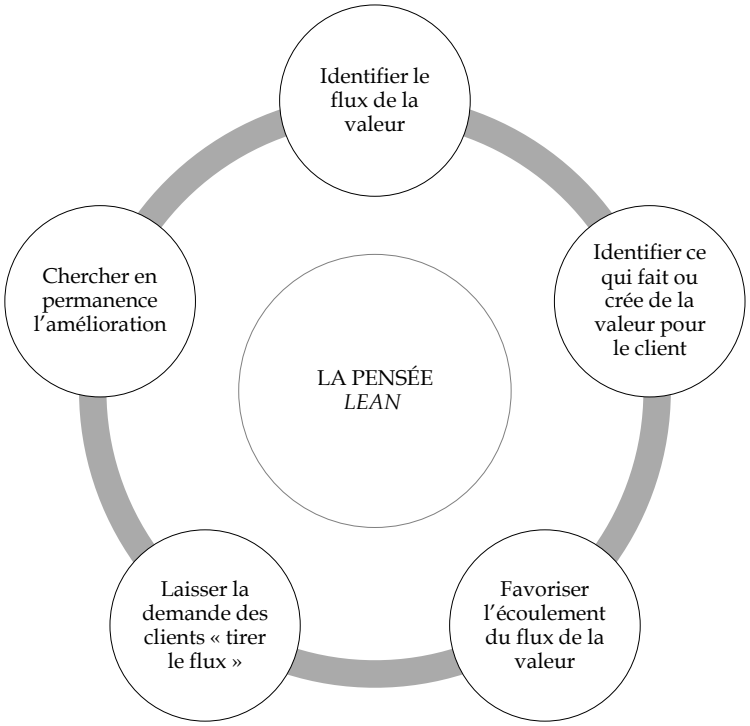


Figure 8 – La pensée *lean* et ses principes [64]

Ces principes sont détaillés ci-dessous.

- Identifier ce qui fait ou crée de la valeur pour le client – le point de départ du *lean* est la valeur pour le client. Cela signifie *la définition de produits* avec des caractéristiques spécifiques qui ciblent des utilisateurs avec un profil de besoins et des finances spécifiques. De plus, une fois que la valeur a été définie, il est important d'identifier aussi des activités qui ajoutent de la valeur au produit final depuis sa conception. Les activités qui n'ajoutent pas de valeur sont considérées comme des gaspillages ;
- Identifier le flux de la valeur – un tel flux constitue l'ensemble de toutes les activités nécessaires pour amener un produit jusqu'à un client. Les flux sont de trois types : le flux de conception du produit (de l'idée jusqu'aux spécifications finales du produit et de son processus de fabrication) ; le management des informations (qui va de la prise de la commande à la livraison du produit) ; et la fabrication ou la transformation physique des matières première en pièces jusqu'au produit fini dans les mains de l'utilisateur final. Ce principe est mis en place à partir de la cartographie de ces trois flux ;
- Favoriser l'écoulement du flux de la valeur – une fois les flux de la valeur identifiés, le prochain principe c'est de faire couler le flux de la valeur à travers quelques initiatives d'amélioration spécialement liées à une vision du processus et à une vision départementalisée de l'organisation. L'objectif est d'établir une progression aisée du produit entre les étapes de conception, de fabrication et d'assemblage selon les commandes des clients ;
- Laisser la demande des clients « tirer le flux » – tirer indique que le la fabrication en amont ne doit pas se produire tant qu'un client en aval n'a pas exprimé de besoin. L'idée avec ce principe est d'éviter les stockages de produits et les pertes dues à la non-vente. Pour tirer la fabrication, la plupart des sous-assemblages et des pièces sont disponibles pour le processus d'assemblage. Ainsi, à partir de l'étape d'assemblage, la fabrication de pièces est effectuée uniquement pour remplacer celles qui ont déjà été utilisées pour d'autres assemblages. Cette systématique se suit jusqu'aux fournisseurs.
- Chercher en permanence l'amélioration – le dernier principe de la pensée *lean* consiste à reconnaître qu'il est toujours possible d'améliorer les processus d'une société. La recherche des sources de gaspillages et l'augmentation de la valeur doivent continuer. Ce principe met en valeur la communication entre les parties intéressées par les activités de la société. Ainsi, le contact avec les clients permet l'identification de la valeur. Les échanges entre les fonctions internes et les fournisseurs assurent une bonne synergie des flux de matériaux et de connaissances.

Dans le lean, la valeur comprend les besoins et les désirs des clients et les gaspillages sont les activités réalisées qui n'ajoutent pas de valeur aux produits offerts aux clients. Les principes du lean mettent en évidence l'élimination de toutes les gaspillage [70], [71]. A son tour, Morgan et Liker [72] divisent le gaspillage en 3 types, nommés par muda, muri et mura (en japonais), détaillées dans le Tableau 17.

Type de gaspillage	Signification

Muda	Il s'agit des gaspillages plus discutés par les auteurs et par les gestionnaires quand ils se proposent de travailler avec le *lean*. Dans le cadre de la fabrication traditionnellement sept types de gaspillages sont listés (la surproduction, l'attente, les transports, les opérations inutiles, le stock, les mouvement inutiles et les rebuts ou retouches). D'autre part, il existe deux types de gaspillages dans le processus de conception de produits : celui lié aux gaspillages de l'ingénierie, ou des inconsistances en termes de création de la valeur (ou de la définition du produit), et celle liée au flux d'activités de conception, ou l'excellence de la manière dont les activités de conception sont réalisées et enchainées.
Muri	Il s'agit d'une surcharge des personnes, des équipements et du processus. La première surcharge conduit à un travail négligent et à des risques de sécurité. Ensuite, la surcharge des équipements découle sur des défaillances et sur la fabrication de pièces défectueuses. Et finalement, la surcharge des processus a pour conséquence l'augmentation des files, des attentes, etc.
Mura	Il s'agit des irrégularités entre le travail à rythme très soutenu, généralement quand les dates de livraison sont proches, et le calme après cette date, où le travail se fait avec relativement peu de pression.

Tableau 17 – Types de gaspillages dans l'approche *lean* [72]

Dans le Système Toyota de Fabrication, l'élimination des gaspillages a été établie sur la base de deux concepts : le « *Jidoka* » (ou « l'automatisation avec une touche humaine»), ce qui signifie que, quand un problème se produit, l'équipement arrête immédiatement, en empêchant la fabrication de produits défectueux ; et le « Just-in-Time », dans lequel chaque processus ne produit que ce qui est nécessaire pour le processus suivant dans un flux continu qui est tiré par le client [70], [71], [73].

En revanche, dans le cadre de la conception de produits, le *lean* groupe des pratiques transversales de conception de produits (des techniques et des outils) qui sont dirigées par les principes du *lean* présentés. Cette approche est perçue comme une clé pour la maintenance de la compétitivité d'une organisation à travers la maximisation de la valeur pour les clients et la réduction de gaspillages pendant la conception [64], [74], [75]. La littérature attachée à la conception *lean* est vaste et hétérogène de manière qu'on trouve cinq groupes d'approches à ce sujet, comme le montre la Figure 9 [66], [75].

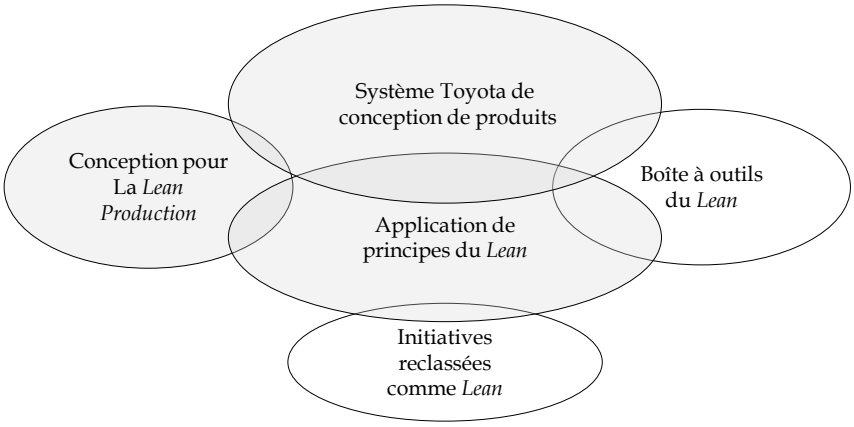


Figure 9 – Les différents approches pour la Conception *Lean* [66]

La première approche est le **Système Toyota de conception de produits** : il s'agit de la manière dont la Compagnie Toyota conçoit ses produits. Les chercheurs placés dans ce cadre montrent que cette approche a été développée en parallèle au Système Toyota de Fabrication et que les deux approches se complètent. Le système Toyota de conception de produit mérite le terme de « Conception *Lean* de Produits », d'autant plus que les résultats de ces types d'approche sont plus performants que les autres approches de la Figure 9. Ensuite, la deuxième approche déclarée comme *lean* est simplement

l'Application des principes du *lean* dans le PDP d'une organisation. Les auteurs liés à cette vision récupèrent ces principes comme un point de départ et se questionnent sur le sens de chacun d'eux dans l'environnement de conception. Le résultat de son application est présenté sur la forme de conseils pour les équipes de conception sur comment conduire les travaux.

Sur la Figure 9, nous trouvons ensuite la **Conception pour la fabrication *lean*** ou « Design for *lean Production*». Nous remarquons qu'il s'agit d'une approche qui utilise la même dénomination que les méthodes « *Design for X* ». Dans cette situation, les concepteurs vont essayer de concevoir les produits pour les rendre plus facile à produire dans un environnement *lean*, y compris la fabrication, l'assemblage et toute la chaîne d'approvisionnement. Cette approche n'a pas pour objectif le changement de la manière dont le processus de conception est mené, et pour cette raison il n'existe pas de changements attendus en termes de temps de conception ou même liés à l'amélioration de la valeur en termes de fonctionnalités du produit. Cependant, cette approche peut réduire considérablement les coûts de fabrication et améliorer la fiabilité du produit [66]. En effet, ces trois groupes d'approches sont les plus attachés à l'idée du *lean* et sont ceux qui donnent le plus de résultats en termes de création de valeur et d'établissement du flux de cette valeur.

Les autres approches nommées comme du lean sont la Boîte à outils du lean et les Initiatives reclassées comme lean. La première approche tente d'appliquer des techniques de fabrication lean dans le développement de produits. Elle n'est cependant pas l'approche que la Compagnie Toyota utilise dans son propre processus de conception de produits, car cette dernière était créée pour le contexte de la fabrication. Finalement, la dernière initiative ne peut pas vraiment être classifiée comme étant du lean. Une fois le terme devenu synonyme de bonne performance, des auteurs et consultants d'entreprise ont rebaptisé des idées classiques du management comme étant du lean. Néanmoins, même si ces initiatives peuvent améliorer l'efficacité de la conception, il ne s'agit pas de lean [66]. Une comparaison entre ces approches est présentée dans le Tableau 18.

Approche de conception *lean*	Description et outils	Principaux avantages	Exemple de promoteurs
Système Toyota de conception de produits	Fondée sur la recherche sur le système de conception de produits de Toyota : les rapports A3, l'ingénierie simultanée basée sur des alternatives et les chefs d'ingénierie « poids lourds »	Temps de mise sur le marché, la productivité, la qualité, l'apprentissage rapide et moins de changements dans le produit à la fin du processus de conception	Sobek, Ward, Morgan, Liker et Kennedy
Application de principes du *lean*	Les principes du *lean* sont appliqués au processus de conception : la valeur, l'identification et l'écoulement tiré du flux de la valeur et la perfection	Temps de mise sur le marché, la productivité, la qualité	Reinertsen et Poppendieck
Conception pour la fabrication *lean*	Amélioration du produit conçu de sorte qu'il coûte moins cher, ayant une grande fiabilité et qu'il soit plus facile à fabriquer	Le coût du produit, la qualité	Yang et Huthwaite
Boîte à outils du *lean*	Les outils de la fabrication *lean* appliqués à la conception de produits : cartographie du Flux de valeur, 5S, travail organisé en cellules de fabrication, etc.	Capacité de R&D	Morgan, Liker, Fiore et Dennis

Initiatives re-classées comme *lean*	Les meilleures pratiques avec une étiquette *lean* pour les rendre plus commercialisables. Pas de vrai lien avec le *lean*	Aucun en termes d'améliorations révolutionnaires et du *Lean*, malgré les gains. Certains sont utiles pour l'amélioration graduelle du PDP	Cooper et des consultants d'entreprise

Tableau 18 – Comparaison des approches *Lean* pour la conception des produits [66]

Les caractéristiques du Système Toyota de Conception de Produits comprennent une concentration des efforts de conception sur les premières étapes du processus afin d'assurer une transition en douceur vers la fabrication. De plus, un modèle de chef d'ingénierie « poids lourds » est utilisé. Il concentre les pouvoirs sur le projet, ainsi qu'un profond partenariat avec les fournisseurs, l'ingénierie concourante et une profonde compréhension du rôle que la connaissance joue dans la conception [66]. Compte tenu des approches qui ont le plus de liens avec le *lean*, nous avons cherché un modèle représentatif de cette proposition. Ainsi, nous avons sélectionné celle de Morgan et Liker [72] qui divise le sujet en trois sous-systèmes : les compétences personnelles, les outils et la technologie et le processus (Figure 10).

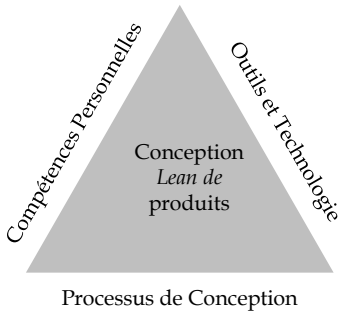


Figure 10 – Système *Lean* de Conception de Produits par Morgan et Liker [72]

Le sous-système Processus comprend la séquence des tâches requises pour mener un produit dès la conception jusqu'à la production. Le sous-système Compétences couvre le recrutement, la sélection et la formation des ingénieurs, le style de leadership et des autres aspects liés aux personnes qui travaillent dans la conception. Le dernier sous-système comprend les Outils et la Technologie utilisés pour concevoir un produit, y compris les outils CAO, les machines de prototypage, les technologies de test, etc. [72]. Chacun de ces sous-systèmes comporte quelques principes qui sont listés dans le Tableau 19.

Sous-système	Principes
Processus	Définir la valeur ajoutée pour le client de manière à séparer la Valeur ajoutée des Gaspillages Affecter les ressources en début de la conception pour explorer des solutions alternatives quand il y a encore beaucoup de marge de manœuvre Créer un flux nivelé de développement produit Utiliser une standardisation rigoureuse pour réduire la variation, créer de la flexibilité et de la fiabilité
Compétences personnelles	Développer un rôle de « chef d'ingénierie » pour piloter le processus de conception du début à la fin Organiser l'équilibre entre expertise fonctionnelle et intégration cross fonctionnelle Développer une compétence technique forte pour tous les ingénieurs Intégrer complètement les fournisseurs dans le système de développement produit Construire en amélioration et apprentissage continu Construire une culture d'excellence et d'amélioration incessante

Outils et technologies	Adapter la technologie pour être en phase avec les personnes et les processus Aligner l'organisation à travers une communication simple et visuelle Utiliser des outils puissants pour la standardisation et l'organisation de l'apprentissage

Tableau 19 – Principes de chaque sous-système de l'approche *lean* de conception de produits [72]

En raison de la richesse des approches et des démarches liées à la façon de concevoir un produit dans un environnement *lean*, quelques auteurs cherchent à comprendre et à synthétiser ce domaine de recherche [74], [76], [77]. Parmi ces ouvrages, León et Farris [74] font une recherche assez conséquente dont le résultat est la construction d'une corrélation parmi les différents auteurs dans le domaine. Pour l'élaboration de leur schéma, Léon et Farris utilisent celui de Morgan et Liker [72] comme base de comparaison (Tableau 20).

D'autre part, Hoppmann et al. [76] ont procédé à une recherche pour construire leur propre vision de la conception lean. Les auteurs l'ont organisée sous la forme d'un schéma formé par 11 composants, à savoir : le chef de projet solide, le parcours de carrière basé sur la spécialisation technique, la charge de travail équilibrée, la Planification et contrôle basées sur la responsabilité, le transfert transversal de connaissances entre les projets, l'ingénierie simultanée, l'intégration des fournisseurs, le management de la variété de produits, le prototypage rapide et tests, la standardisation du processus et l'ingénierie basée sur des alternatives [76].

A partir du cadre présenté par le Tableau 20, nous pouvons nous rendre compte que les différentes visions sur la conception lean ne sont pas des antagonismes inconciliables. Ainsi, dans notre but de proposer un modèle de conception de PA pour les PSH, quelques principes de la conception lean de produits se montrent particulièrement importants.

Sous-systèmes de la conception *lean* [72]	**Compétences personnelles**				
		Processus de conception			
				Les outils et la technologie	
Techniques de conception *lean* [62]	Leadership Travail d'équipe	Communication		Ingénierie concourante	
Techniques de conception *lean* [78]	Équipes inter-fonctionnelles	Stratégie	Implication des fournisseurs	Ingénierie simultanée (concourante)	
Principes de conception du *lean* [79]	Des équipes d'experts responsables	Concentration sur la valeur		Ingénierie simultanée basée sur des solutions alternatives	Cadence, conception tirée et flux
Composants de la conception *lean* [76]	Le chef de projet solide Le parcours de carrière basé sur la spécialisation technique	Charge de travail équilibrée Planification et contrôle basées sur la responsabilité Le transfert transversal de connaissances	L'intégration des fournisseurs L'ingénierie simultanée	Prototypage rapide et tests Standardisation du processus et ingénierie basée sur des alternatives	Le management de la variété de produits

		entre les projets			

Tableau 20 – Comparaison entre les visions de la Conception *Lean*. Adaptée de [74]

Tout d'abord, il est important d'indiquer ce qui doit être développé, autrement dit, l'identification et la définition de la valeur pour le client qui sert de base pour toutes les activités de conception. Ensuite, nous nous concentrons sur la manière de chercher les solutions à partir de l'exploitation de solutions alternatives dès le début de la conception et d'une lente convergence vers une solution finale. Finalement, notre regard se tourne vers la façon avec laquelle les solutions qui répondent aux besoins des utilisateurs sont spécifiées et standardisées.

2.2.1.1 La valeur ajoutée pour le client et les gaspillages

La vision du *lean* comme un système pour réduire les gaspillages ne doit pas être centrale dans le cadre de la conception de produits. Ceci est le cas pour la phase de fabrication parce que les spécifications des produits sont déjà prêtes et l'objectif est d'éviter la *muda*. En revanche, dans la conception, le *lean* doit être vu comme un système de création de la valeur. Ainsi, l'important n'est pas l'élimination d'activités qui n'ajoutent pas de valeur, mais d'assurer que le flux de création se produise avec les informations correctes au bon moment [80]–[82]. En d'autres termes, le processus doit assurer l'identification de la valeur pour les clients, faire que les décisions sur les attributs du produits correspondent à la définition de la valeur et que le processus de conception soit efficace [72].

Traditionnellement, le processus de définition de la valeur se fait à partir des informations sur les besoins des clients, les caractéristiques des anciens produits (les propres et ceux des concurrents), les principes d'ingénierie et d'autres ressources qui sont transformées dans un processus de définition d'un produit fabricable. Toutefois, pour la réalisation de telles activités, les concepteurs ou l'équipe de conception doit avoir une définition et aussi un archétype (une vision) de ce qu'est la valeur. En outre, les modèles des processus de conception, avec ses sous-divisions et sa stratégie de déroulement, ont des grands impacts sur les coûts, dans le temps de mise du produit sur le marché, mais aussi sur la valeur perçue par l'utilisateur. Cependant, la littérature sur la valeur et la littérature sur la modélisation du processus de conception sont faiblement reliées [80], [81]. Ainsi, dans ce paragraphe nous allons nous concentrer sur la conceptualisation de la valeur et sur son processus de définition et son intégration tout au long de la conception. Nous allons également discuter quelques critiques de la vision *lean*.

L'adoption d'un produit par un client ou consommateur est liée à la perception de ses avantages sur plusieurs dimensions : psychologique, sociale, son statut, moyens pour la réalisation d'une tâche, etc. La compréhension des raisons qui conduisent les personnes à choisir un produit et à l'utiliser en continu sont des facteurs essentiels de survie pour les entreprises. Ainsi, dans la perspective de l'approche *lean*, cette compréhension des préférences du client et de leurs insertions dans la spécification du produit est appelée définition de la valeur [72]. Quelques auteurs argumentent que les entreprises sont en

train d'élargir l'espace de design et font plus attention à l'expérience de l'utilisateur. Dans ce contexte, ces entreprises démontrent comprendre que les produits ne sont pas juste des dispositifs techniques, car les personnes tendent à acheter des produits en raison d'aspects émotionnels, psychologiques et socioculturels. Ainsi, ce n'est pas seulement la fonctionnalité qui tire les personnes vers un produit [83]–[85].

Malgré cet explicite discours sur la valeur, quelques auteurs critiquent l'approche *lean* en disant qu'elle n'arrive pas à identifier et créer un produit avec un grand lien émotionnel avec les utilisateurs [75], [83]. La première difficulté dans ce contexte est que la définition de la valeur n'est pas exacte, et qu'il existe mêmes différentes visions parmi les auteurs s'intéressant au sujet. En outre, la définition de la valeur dans le cadre des activités de conception n'est pas forcément celle utilisée lors les opérations de production [77], [86].

La valeur est couramment vue en termes de fonctionnalités ou d'attributs que le client est prêt à payer ou comme une relation entre coût et bénéfice entre les sommes versées pour l'achat et les fonctions que le produit exerce. C'est l'esprit des formulations sur la valeur comme dans l'exemple de l'équation 1 : la valeur peut être maximisée à travers l'augmentation de la performance du produit et/ou à partir de l'amélioration des activités de manière à réduire le prix ou le délai de production du produit [80], [81].

$$Valeur\ du\ produit = \frac{Performance\ du\ Produit}{Prix\ du\ Produit \times Délai\ de\ production} \quad (1)$$

De plus, les définitions disponibles mettent beaucoup l'accent sur les attributs du produit comme la source de la valeur. En effet, il existe peu ou aucune considération vis-à-vis l'expérience totale de l'utilisateur [83]. Ainsi, même si quelques auteurs comme Morgan et Liker [72] se concentrent sur la compréhension de valeur pour l'utilisateur, ils ne donnent pas beaucoup d'indices sur la manière dont il faut procéder pour identifier cette valeur. En fait, ils concentrent cette identification sur la figure du Chef d'Ingénierie (CI), qui essaie de dépasser les aspects physiques du produit et se focaliser sur l'expérience de l'utilisateur, y compris sur les facteurs émotionnels.

Toutefois, pour la conception, ces types de définitions ne fournissent pas de support aux activités des concepteurs. Même le modèle du CI ne démontre pas comment ce manager identifie ce qui est important pour les utilisateurs et comment il traduit ces aspects en concept. En fait, la littérature sur le Système de Conception *Lean* n'arrive pas à démontrer ce qu'est la valeur dans la pratique, comment l'utilisateur fait son jugement de la valeur à partir de l'expérience avec un produit et les services connexes ; et comment les concepteurs doivent prendre en compte ces aspects lors de la conception.

De manière à contourner de telles limitations, une extension de la conception *lean* est proposée : le « Lean Innovation » ou l'Innovation Lean. Il s'agit d'une « philosophie opérationnelle visant à maximiser la valeur émotionnelle et utilitaire en utilisant des connaissances approfondies sur la valeur

pour le client comme fil conducteur et en tirant parti de différents types d'innovation » [75]. Normalement, l'approche *lean* est utilisée dans les cadres de conception de nouvelles plateformes ou d'innovations incrémentales de produits déjà offerts par l'entreprise [72], [75]. Cela ne représente qu'une partie des possibilités d'innovations pour répondre ou même pour élargir les attentes des utilisateurs. Ainsi, cette typologie propose dix types d'innovation montrées dans le Tableau 21 et divisées en trois catégories : la configuration organisationnelle, l'offre de produits ; et l'expérience de l'usager [87].

Catégories	Types	Définition
La Configuration organisationnelle	Modèle de profit	Comment une entreprise gagne de l'argent grâce à des modèles innovants de profit. Cela veut dire comment trouver une nouvelle manière de convertir les offres en retour financier
	Réseau	Comment une entreprise se connecte avec des autres pour créer des avantages mutuels en termes de synergie de processus, de technologies, d'offre, de canaux de distribution, etc.
	Structure	Comme une entreprise organise et aligne ses talents et ressources (humains, matériels et intangibles) pour la création de la valeur
	Processus	Comme une entreprise développe des méthodes de travail supérieures qui permettent l'obtention de capacités et d'efficacité fonctionnelle difficiles à reproduire
L'offre de produits	Performance du produit	Comment une entreprise développe des distinctifs et des fonctionnalités uniques à partir de produits entièrement nouveaux, de mises à jour et d'extensions de ligne ou plateforme
	Système produit	Comment une entreprise crée des produits et services complémentaires, les reliant par des initiatives comme l'interopérabilité, la modularité, l'intégration, etc.
L'expérience de l'usager	Service	Comment l'entreprise prend en charge et amplifie la valeur de ses offres. Les innovations de service assurent l'amélioration de l'utilité, de la performance et de la valeur d'une offre
	Chaîne	Comment une entreprise fournit ses offres aux clients en assurant l'achat des produits souhaités dans des délais et coûts acceptables et une maximisation du plaisir d'usage
	Marque	Comment une entreprise représente ses offres et ses affaires pour assurer que les clients reconnaissent, rappellent et préfèrent les offres de l'entreprise à celles des concurrents
	L'engagement	Comment une entreprise favorise des interactions convaincantes avec les clients de manière à comprendre ses aspirations profondes et créer des liens entre eux

Tableau 21 – Dix types d'innovation [87]

Les propositions de la valeur peuvent affecter la perception des utilisateurs à partir des différents types d'innovation qui leur sont proposés. Notamment ceux associées aux catégories d'innovation de l'offre de produits et de l'expérience de l'usager. En prenant par exemple en compte les aspects liés à l'abandon de PA, nous vérifions que la performance du produit est un important facteur d'interruption d'usage. De plus, la compréhension des besoins de la PSH et l'insertion de tels facteurs dans le produit offert peut aider ces personnes à l'engagement avec le PA dont l'utilisation leur est indiquée. Bien que les innovations liées à la Configuration Organisationnelle restent plutôt invisibles pour les clients, elles contribuent à la création de valeur et à sa perception par les clients via la qualité des produits et des services connexes.

Une autre façon de regarder le phénomène de l'innovation est à travers la relation entre la fonctionnalité ou la technologie du produit et ce que signifie ce produit pour les utilisateurs (la satisfaction les besoins utilitaires des clients et le sens du produit en termes affectifs et de besoins socioculturels). Ces

deux aspects sont également importants pour les utilisateurs, ainsi l'innovation est liée à la fonctionnalité, à la signification ou aux deux. L'innovation fonctionnelle peut impliquer des ruptures incrémentales ou radicales et les innovations de signification peuvent être moins importantes, comme l'adaptation à l'évolution socioculturelle, ou plus larges, comme la génération de nouvelles significations. Le croisement entre les dimensions technologique et de signification nous fournit différentes stratégies d'innovation comme montré dans la Figure 11 [88].

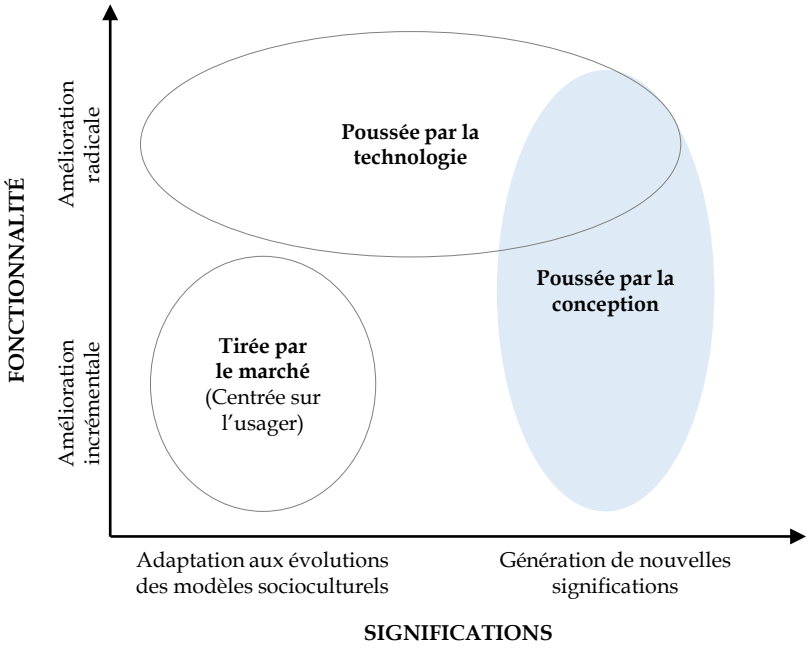


Figure 11 – Stratégies d'innovation [88]

Tout d'abord, nous avons la stratégie d'innovation « **tirée par le marché** », qui présente des innovations techniques incrémentales pour des adaptations aux évolutions de modèles socioculturels. Dans ce cadre, les nouvelles solutions résultent (1) d'un processus d'analyse des besoins des utilisateurs et (2) des recherches de technologies et de significations qui peuvent satisfaire ces besoins. Cette stratégie est souvent associée à la conception centrée sur l'utilisateur. Cependant, cette dernière est plus profonde en ce qui concerne les méthodes permettant de mieux comprendre pourquoi et comment les usagers donnent un sens aux choses existantes [88]. Quelques critiques de cette stratégie sont trouvées dans la littérature. Parmi elles, une critique très pertinente est celle qui affirme qu'une entreprise ne mettra pas sur le marché une innovation dont la rentabilité soit difficilement assurée. De plus, parfois l'innovation évolue à partir de création de nouveaux marchés, et non pas en satisfaisant un marché existant [89].

Nous trouvons ensuite la stratégie d'innovation « **poussée par la technologie** », qui est placée comme le résultat ou les découvertes de recherche technologique ou des processus de R&D. Il s'agit surtout d'améliorations radicales de la technologie qui peuvent engendrer des modifications plus ou moins importantes dans la signification d'un produit ou d'une innovation pour les utilisateurs [88]. Cette

vision est comprise comme réductionniste vu qu'elle écarte de son cadre d'analyse, toute interaction de la technologie avec le marché. En outre, pour quelques auteurs « c'est la conception et non pas la Science qui est à l'origine de l'innovation. De ce fait, les améliorations successives apportées à une innovation initiale, où réside souvent le succès d'une innovation, sont exclues de l'analyse » [89].

Finalement, nous avons l'innovation « **poussée par la conception** », qui s'initie par la compréhension des aspects subtils et non inexprimés de la dynamique des modèles socioculturels. Ses résultats sont la génération de nouvelles significations par rapport à cet environnement. Pour cela, il est important de comprendre le comportement des clients actuels et d'identifier les tendances futures pour anticiper les changements dans le sens et dans l'utilisation d'un produit. Cela peut donner origine à des concepts plus innovateurs par rapport aux procédés traditionnels tirés par le marché. Ce type d'initiative possède des intersections avec l'innovation « poussé par la technologique », une fois que le changement technologique peut générer des changements de significations d'un produit. De plus, les innovations radicales de significations sont souvent motivées par l'exploration des nouvelles technologies [88].

La stratégie de pousser l'innovation à partir de la conception des produits peut consister en la création d'un pont entre les deux autres stratégies présentent dans la Figure 11. La veille technologique et aussi celle du marché permettent de créer des opportunités de proposer des solutions innovantes aux utilisateurs. Ces solutions vont être comprises comme des solutions de valeur à travers différentes point de vue.

Depuis le début de ce sous-chapitre, nous nous intéressons de manière plus attentive à deux visions vis-à-vis de la valeur : celui des utilisateurs et le regard des entreprises. Ainsi, dans une vision intégrée de la valeur pour le client, nous voyons trois étapes comme indiqué dans la Figure 12 : pour les entreprises, le flux de création de la valeur et l'appropriation de la valeur ; et pour le client, la valeur perçue par le consommateur. Le premier flux concerne les produits offerts aux clients, impliquant le processus de conception et la chaîne d'approvisionnement de la matière première jusqu'au produit final. La valeur perçue implique une interaction entre un produit et un utilisateur, en conduisant ce dernier à un jugement de valeur. Ce processus d'évaluation est relatif car il dépend des personnes qui évaluent, des situations où elles se trouvent et des éléments de comparaison dont elles disposent. Finalement, le troisième aspect de la valeur est l'appropriation par les entreprises, c'est à dire la gratification financière probable une fois que le processus de valeur est bien réussi.

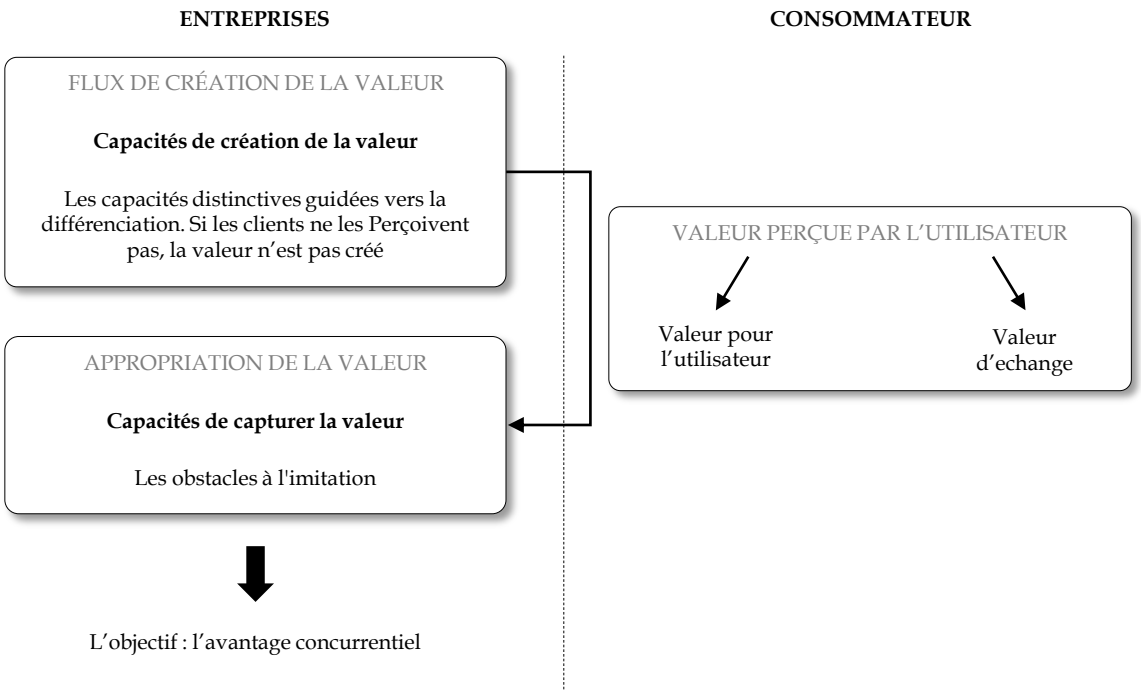


Figure 12 – Une vision intégrée de la valeur pour le client [90]

La valeur perçue par le client est un phénomène multidimensionnel, ce qui implique une variété de différents aspects évalués tout au long de l'expérience de l'utilisateur avec le produit. Cela signifie que, lors de l'étape de recherche et de sélection de produits, les clients perçoivent des caractéristiques et attribuent une valeur à un produit. Ce jugement fait par les clients peut les conduire à l'étape suivante de configuration et d'achat. Après, le produit acheté est exposé à l'épreuve de l'expérience de l'utilisation continue. A ce moment, la valeur est jugée à partir de l'interaction de la personne avec le produit. Cela affecte aussi une étape ultérieure de la consommation liée au souvenir et la nostalgie de l'utilisation du produit. Tout ce processus d'attribution de la valeur, qui vient d'être décrit, a un fort composant émotionnel qui détermine le succès commercial du produit.

Jusqu'à présent, nous avons discuté la définition de la valeur, ses dimensions et la chaîne activée pour sa création. A partir de maintenant, nous allons discuter les aspects liés à l'identification de la valeur pour son intégration dans le produit lors de sa conception. L'approche classique utilisée pour identifier les préférences des clients est faite par de nombreux outils, comme les groupes de discussion, les analyses comparatives avec les concurrents, l'analyse des données démographiques, etc. Un énorme travail et investissement est fait par les entreprises pour avoir une première compréhension sur le profil et les préférences personnelles des clients potentiels.

Pour l'approche *lean*, ce type de collecte d'informations est considérée nécessaire mais pas suffisant pour composer une compréhension précise de la valeur du point de vue du client, en particulier pour créer une connexion émotionnelle avec lui [72]. En effet, la relation entre un produit et l'utilisateur est plus large et complète que les simples attributs physiques et les fonctions livrées. Cette relation est plus profonde et un produit peut même être considéré comme « objet de vie » avec lequel les per-

sonnes ont des relations sentimentales comme la joie, la colère, la fierté, la honte, la sécurité ou l'anxiété. Par conséquent, les produits doivent être conçus avec un regard sur l'expérience globale de l'utilisateur, et non pas juste ses fonctionnalités [83], [88], [91].

Ainsi, un processus de conception *lean* concentre beaucoup d'efforts dans la découverte des préférences des usagers, des aspects liés à l'utilisation du produit, dans l'analyse des produits concurrents jusqu'à l'élaboration d'un « Concept Paper » par le CI. Un tel travail est plutôt concentré sur l'observation des habitudes des personnes dans l'utilisation d'un produit analogue ou en démontrant un besoin spécifique pour lequel les produits existants ne fournissent pas une bonne solution [72]. D'un autre côté, une recherche a identifié les phénomènes liés à l'évolution des perspectives de la valeur et leurs impacts sur la façon dont les designers cherchent à maximiser la valeur pour le client en utilisant des techniques de l'approche de conception *lean* [83]. La relation entre ses phénomènes est présentée dans la Figure 13.

Le premier phénomène traite de (1) l'écart entre la perception de l'entreprise sur la valeur et la compréhension des clients de la valeur. Dans ce contexte, deux types d'écarts peuvent être trouvés. Le premier est lié à l'idée de ne pas concevoir un produit pour les besoins actuels d'un groupe d'utilisateurs, mais de le concevoir en gardant à l'esprit les aspirations futures des utilisateurs. L'autre type d'écart est la compréhension que différents modèles de produits attirent différents types de personnes. Cela n'est pas nécessairement vrai, car différents produits peuvent attirer le même public pour les usages différents [83]. Dans le contexte d'acquisition d'un PA, la motivation peut se concentrer sur l'aspiration de réalisation d'activités et la participation sociale. Donc, les besoins sont projetés dans le futur. De plus, des produits apparemment différents comme un fauteuil roulant sportif et un autre pour le déplacement à l'intérieur d'une maison peuvent attirer les mêmes personnes, mais pour des utilisations ou raisons différentes.

Le second phénomène traite de (2) la compréhension du client sur la valeur réelle qui dépend de son expérience précédente. Ainsi, les anciens utilisateurs d'un produit présentent un niveau plus élevé de satisfaction avec une évolution du produit que ceux qui n'ont pas de référence pour effectuer de comparaison. De plus, une autre relation avec l'expérience précédente est que la valeur pour le client change selon l'expérience actuelle et qu'il y a création d'expectatives pour de nouvelles fonctionnalités et significations. En prenant de nouveau l'exemple du fauteuil roulant, nous vérifions qu'un utilisateur expérimenté peut donner plus d'avis sur l'évolution de ce type de produit que quelqu'un qui commence à l'utiliser [83]. De plus, le premier a probablement déjà surmonté le deuil d'une possible perte de la marche, tandis que le nouvel utilisateur ne trouvera jamais quelque chose de bon dans un fauteuil qui lui rappellera toujours sa douleur [26].

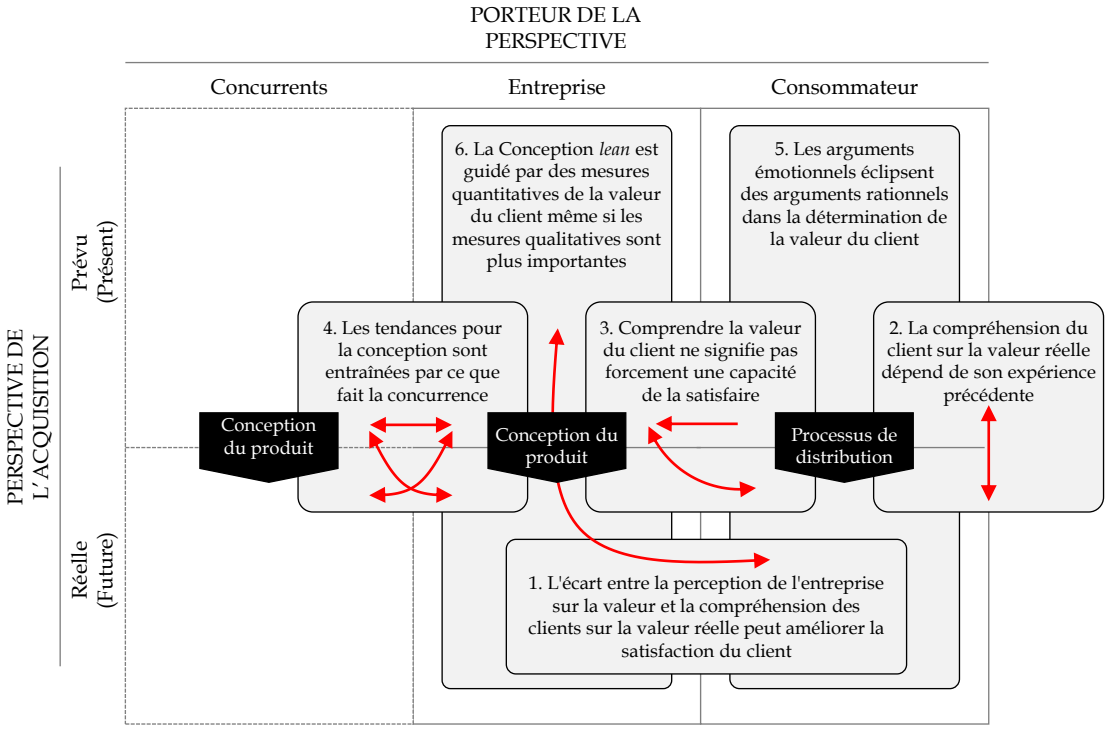


Figure 13 – Phénomènes observés par rapport à l'évolution des perspectives de la valeur client [83]

Dans le phénomène suivant, (3) les entreprises reconnaissent que comprendre la valeur du client ne signifie pas forcément une capacité à la satisfaire. Cela est vrai dans tous les contextes, spécialement quand la compétence pour développer ou fabriquer l'innovation demandée n'existe pas dans l'organisation. Cela nous remet dans le contexte que (4) les tendances pour la conception sont entraînées par ce que fait la concurrence. Les innovations des concurrents peuvent résulter de créations de nouvelles significations ou de nouvelles offres de fonctionnalité pour les usagers. D'où l'importance de la veille technologique [83].

Un des principaux arguments de la conception *lean* est (5) le développement d'un lien émotionnel avec les utilisateurs, en sachant que les arguments émotionnels éclipsent certains arguments rationnels dans la détermination de la valeur par le client et, par conséquent, sur sa décision d'achat. Pour cela, (6) les données quantitatives ne jouent pas un rôle très important dans l'identification et la spécification de la valeur. En revanche, les techniques pour l'identification des subtilités qualitatives ne pointent que vers l'identification du contexte d'utilisation [83]. Dans l'exemple du fauteuil, les détails sur la manière dont le produit est utilisé vont donner plus d'information aux concepteurs du produit. Ainsi, ils pourront répondre aux besoins pratiques des PSH en développant aussi un lien émotionnel avec les utilisateurs du produit en cours de conception [92].

La définition des caractéristiques du produit qui matérialisent les possibles réponses aux attentes des différents utilisateurs sont faites dans la conception et le développement de produits. Ainsi, l'objectif principal est d'identifier ce qu'est la valeur pour l'utilisateur cible, en considérant les perspectives économiques, hédoniques, sociales et altruistes de la valeur, aussi bien que les phénomènes décrits en

amont et les types d'innovation proposés. Ensuite, ces définitions doivent être communiquées à l'équipe de conception et périodiquement, il s'agit de vérifier si la définition de la valeur est utilisée comme un guide pour les travaux. Par conséquent, la méthode de conception de PA devra intégrer une définition multidimensionnelle de la valeur, assurer une communication efficace de la valeur et une évaluation continue de la valeur tout au long du processus de conception.

Les entreprises qui utilisent le *lean* concentrent la définition de la valeur sur la direction d'une personne clé : le Chef d'Ingénierie (CI). Cette personne doit disposer d'une grande expérience de manière à établir un lien émotionnel avec les clients. En général, les auteurs recommandent que le CI soit un ingénieur expérimenté avec la sensibilité de comprendre ce que signifie la valeur pour les usagers et donc les caractéristiques de performance souhaitées du produit. Le CI et son équipe font des efforts importants pour atteindre cette compréhension et aussi pour transmettre la définition de la valeur aux équipes impliquées tout au long de la conception d'un produit [72]. La procédure pour la création de la valeur pour les clients est détaillée en quatre étapes, à savoir :

- Le CI communique la valeur définie pour répondre aux exigences des clients – En tant que responsable pour la définition de la valeur, le CI précise les objectifs de performance au niveau des produits. Il les aligne aux objectifs globaux de performance l'équipe du programme de conception comme un tout. Sa vision est communiquée par un document nommé « Concept Paper » qui indique les objectifs qualitatifs et quantitatifs pour les caractéristiques, le niveau de performance souhaité, le coût et les objectifs de qualité de produits. La construction de ce document est faite à partir d'informations fournies à partir de plusieurs sources à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise en ce qui concerne les contraintes et possibilités des systèmes de fabrication, les capacités des fournisseurs et ainsi de suite. Concernant les utilisateurs, il est recommandé un contact avec les équipes les plus proches des usagers (comme la vente et l'entretien des produits);
- Hiérarchie de valeur – Les objectifs de performance du produit doivent être traduits en objectifs précis et mesurables pour les équipes fonctionnelles. Ainsi, chaque sous équipe est subordonnée à la valeur définie par le CI dans une « hiérarchie de valeur ». Pour cela, l'équipe du CI décompose les objectifs du plus haut niveau et aligne chaque niveau fonctionnel dans un ensemble d'actions spécifiques de manière à atteindre la définition de la valeur définie;
- Équipe de Conception de Modules – après la décomposition de la valeur dans la hiérarchie citée, le responsable pour la conception de chaque sous-système des produits compose les Equipes de Développement de Module (EDM). Chaque équipe négocie les objectifs spécifiques et mesurables pour son sous-système avec l'équipe du CI. Cette procédure assure que chaque équipe va travailler pour la performance globale du produit, et non pas pour leur système local ;
- Stratégies pour livrer de la valeur – les EDM travaillent ensemble et de manière parallèle avec les objectifs de la valeur à partir de l'étude des données qualitatives, de l'analyse de démontage des produits concurrents, de visites dans les locaux de vente pour avoir des remarques des clients. Il est pré-

vu aussi des visites d'usines de fabrication, propres et des concurrents. Le but est de développer des stratégies spécifiques et des objectifs axés sur la valeur de manière à avoir des engagements sur la valeur à l'intérieur de chaque équipe.

La dynamique de travail utilisée par les équipes de conception de modules pour la mise en œuvre de la valeur spécifiée est présentée dans le paragraphe suivant où nous traitons de la création de solutions pour répondre à la valeur définie et du processus de convergence vers la solution finale pour le produit.

2.2.1.2 *Exploration concourante de solutions alternatives*

Les processus de conception de produits sont traditionnellement guidés par les méthodes basées sur une solution initiale affinée petit-à-petit. L'exploration concourante de solutions alternatives est l'approche normalement trouvée dans les processus solution-orientés, aussi nommé par les auteurs comme un processus « *point-based* » [76], [77], [82], [86], [93]–[97]. Un tel type de démarche a généralement 5 étapes de base. Tout d'abord, les concepteurs commencent par la (i) définition du problème de conception où sont identifiés les besoins des consommateurs et où les exigences pour le produit sont établies. Ensuite, de manière collective ou individuelle, les concepteurs vont (ii) générer plusieurs concepts alternatifs pour la solution au problème. Après une analyse préliminaire, les concepteurs vont (iii) choisir l'alternative la plus prometteuse pour le développement ultérieur. Par la suite, des travaux (iv) d'analyse et de modification itérative sont menés jusqu'à l'aboutissement d'une solution considérée comme appropriée pour répondre aux exigences définies en amont. Finalement, si le solution finale échoue pour répondre aux exigences listées, (v) le processus doit recommencer à partir des étapes (i) ou (ii) [94], [97]. Ce type d'organisation est montré dans la Figure 14. Nous y voyons peu de coordination entre les étapes du processus et des boucles qui sont les conséquences pour retravailler quelques décisions.

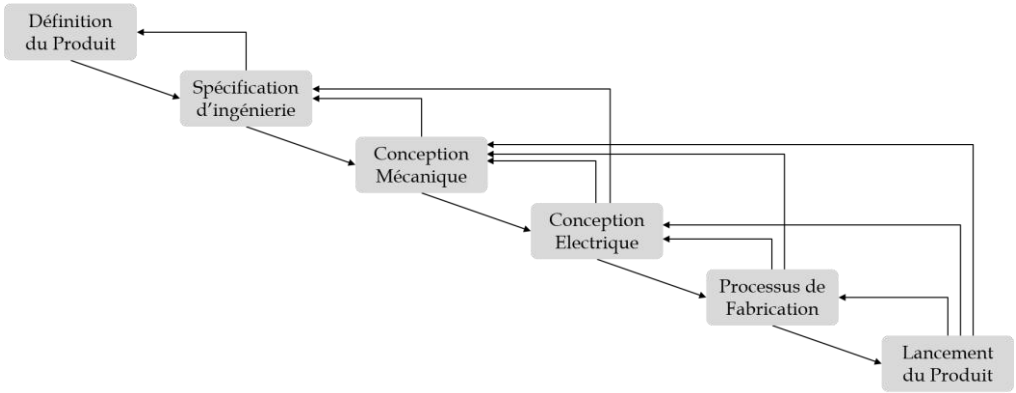


Figure 14 – Organisation traditionnelle des processus « *point-based* » [64]

Cette organisation traditionnelle du processus de conception a plusieurs limitations. Tout d'abord, les équipes sont normalement organisées de manière fonctionnelle et le flux de conception suit graduel-

lement une fonction vers une autre. Dans cette chaîne quelques inconsistances peuvent être trouvées par une fonction en aval et un processus d'itération est déclenché pour la réalisation des ajustements nécessaires. Un tel problème est plus grave dans les cas de conception de systèmes complexes, où les frontières entre disciplines peuvent restreindre le développement, comme par exemple dans le cas de modules qui comportent différentes technologies. Une manière de contourner de telles limitations est la formation d'équipes multidisciplinaires dont le processus de travail est organisé avec une approche d'ingénierie simultanée. Cela intègre l'organisation d'activités en parallèle, l'augmentation de l'importance des processus de fabrication sur les décisions de conception et de la communication entre les équipes impliquées dans et par la conception [94]. De plus, cette organisation permet une forte réduction du temps employé pour la conception, même si les activités sont menées de la même façon [98].

Dans la pensée *lean*, le principe de « favoriser l'écoulement du flux de la valeur » est interprété dans le contexte de la fabrication comme un processus où idéalement les pièces progressent individuellement tout au long du système de fabrication. En utilisant cet exemple comme une analogie pour le processus de conception, un produit en cours de conception doit progresser en continu des premières étapes de conception jusqu'à la fabrication [64]. En revanche, même si l'ingénierie continue est plus proche d'un flux continu, les interruptions dues aux interactions continuent d'être présentes dans le processus pour certaines raisons : la détermination des exigences n'est pas une science exacte ; l'interdépendance des décisions fait que quelques équipes attendent la définition des variables par les étapes amont de manière à éviter des possibles remises en cause ; et la philosophie de « faire bien dès la première tentative » n'assure pas que la conception va se dérouler avec succès jusqu'aux étapes de test et de fabrication [94], [97].

En effet, à chaque fois qu'une décision est prise dans une étape, les options pour les ingénieurs placés dans les étapes en aval sont limitées ou restreintes. Autrement dit, le degré de liberté du projet est restreint. Ainsi, un processus dit « *point-based* » conduit à un optimum local où certaines options potentielles sont abandonnées très tôt dans le processus. Alternativement, l'approche *lean* pour la conception a pour objectif le maintien des alternatives tout au long du processus à partir du retardement de la prise de décisions sur les détails du produit en cours de conception [99]–[101]. En fait, quelques aspects pointent l'importance de pousser les décisions vers la fin du processus de conception, à savoir :

- Le coût du produit – plus les décisions sont prises en amont, plus elles impactent la qualité et le coût final du produit. En revanche, elles sont prises avec moins des données sur les conséquences sur les processus aval [101] ;
- La possibilité de gérer des modifications – plus le processus de conception est avancé, plus les modifications du produit deviennent difficiles, parce que les décisions prises sont des contraintes pour les étapes suivantes [94] ;

• La manque de connaissance – plus le processus de conception avance, plus les concepteurs deviennent familiarisés avec le problème, y compris les variables liées aux exigences des utilisateurs, celles liées à la fabrication et aussi à l'impact d'incorporer des nouveaux besoins identifiés au long de la conception [94]. En d'autres termes, pousser les décisions évite de prendre des décisions prématurées et permet de gérer plus de valeur dans la conception [96].

Ainsi, dans le cadre de la conception lean, un processus appelé « ingénierie concourante basée sur des alternatives » est proposé. Le travail commence par la construction d'une région des solutions faites par les concepteurs et aussi par d'autres groupes fonctionnels de l'organisation. Ces possibilités composent l'espace de conception. Ensuite, l'équipe impliquée dans le projet cherche des intersections dans l'ensemble de solutions et, dans un travail coopératif, elle élargit les intersections entre les régions, en augmentant le nombre de solutions qui répondent à la valeur définie précédemment. Puis un processus de convergence est initié et la région de chevauchement se rétrécit suite à l'élimination ou à la fusion des options. Les idées restantes sont détaillées et testées, en suivant le flux de conception jusqu'à la définition d'une solution finale qui peut être une 'idée sélectionnée' ou la fusion de plusieurs solutions différentes d'options initiales [72], [76], [77], [94]. La Figure 15 illustré ce flux de travail.

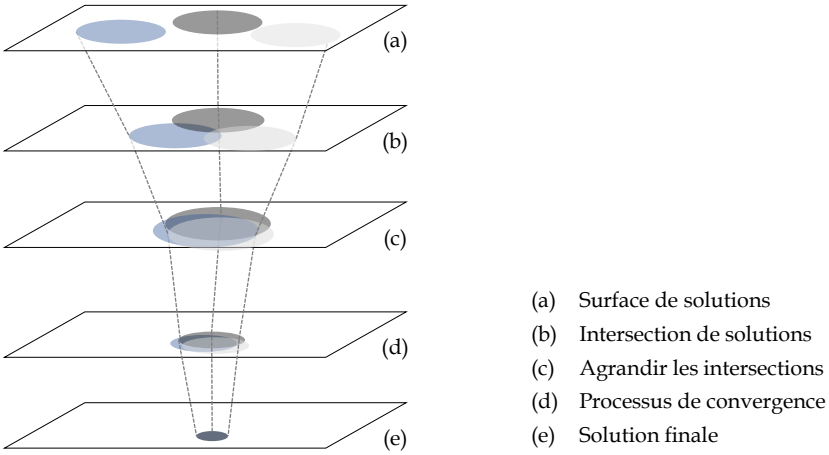


Figure 15 – Ingénierie concourante basée sur des options alternatives. Adapté de [94]

Cette méthode doit être appliquée tout au long du processus de conception, mais cette utilisation dans les premières étapes est spécialement importante parce qu'un maximum d'options de solution est disponible [72]. L'exploration concourante de solutions alternatives est mise en œuvre à travers l'application de quelques principes : cartographier l'espace de solutions, intégrer à travers les intersections et établir la faisabilité avant l'engagement [99], [100]. Ses trois principes sont implémentés par quelques éléments listés dans le Tableau 22 et discutés par la suite.

Pour **Cartographier l'espace de solutions**, le premier élément est Définir les régions possibles. Pour cela, chaque fonction, de manière parallèle et indépendante, définit une région de solutions possibles selon sa perspective. Cela inclut l'expérimentation et l'analyse de possibilités, non pas seulement des

idées et des exquises, pour définir une liste d'options qui peuvent et qui doivent être considérées [99], [100]. Ensuite, les fonctions présentes dans l'équipe vont Explorer les compromis par la conception de plusieurs alternatives. La décision entre les différentes alternatives, soit pour les aspects techniques du produit, soit pour les aspects esthétiques des produits, est faite à partir d'une analyse comparative entre les concepts qui sont testés par prototypage [99]. En revanche, dans le cas de produits complexes et coûteux, la construction d'un grand nombre de prototypes peut être prohibitive, ce qui rend les simulations assistées par ordinateur comme une option plus viable [76], [93].

Principes	Eléments pour l'implémentation
Cartographier l'espace de solutions	Définir les régions possibles Explorer les compromis par la conception de plusieurs alternatives Communiquer les jeux de possibilités
Intégrer à travers les intersections	Chercher intersections Imposer un minimum de contraintes Chercher la robustesse des aspects physiques, de marché et contre les variations de conception
Établir la faisabilité avant l'engagement	Raffiner doucement les options, en équilibrant les nécessités d'apprendre et de décider Rester dans les listes une fois qu'on s'est engagé Contrôle par la gestion de l'incertitude dans les jalons du processus

Tableau 22 – Principes pour l'implémentation exploration concourante d'alternatives [99]

L'apparente perte de temps de créer des options qui ne seront pas sélectionnées est compensée par la création de connaissances qui pourront être utilisées lors d'autres projets, et aussi par l'augmentation de la capacité des ingénieurs impliqués dans la conception. De plus, elle confère à l'équipe une certitude d'avoir pris du temps pour analyser la situation et réellement avoir choisi les meilleures solutions ou avoir convergé vers une solution optimale. L'exploitation d'alternative au plus tôt dans le projet réduit les incertitudes et les itérations dans les étapes en aval du processus de conception. Dans ce processus, les fournisseurs ont un rôle fondamental de génération et analyse des alternatives. En général, le processus de sélection de la solution et du fournisseur se produit de même temps [99], [100], [102].

Finalement, les groupes doivent Communiquer les jeux de possibilités. Les idées sont transmises sous forme de listes dans lesquelles sont présentés les points forts et faibles de chacun des points de vue d'une fonction organisationnelle. Le principe est que, quand les alternatives sont clairement communiquées comme une région d'alternatives, un meilleur « mariage » entre différents systèmes et sous-systèmes est possible. Dans un système complexe, l'interaction entre les sous-ensembles a un rôle fondamental dans pour son fonctionnement. Ainsi, l'important est optimiser le tout et non pas chaque morceau individuellement [99].

Le deuxième principe pour l'implémentation de l'exploration concourante d'alternatives est **Intégrer à travers les intersections**. Tout d'abord, l'équipe doit chercher les intersections entre les solutions de différentes parties du produit. A partir des listes de solutions possibles, les différentes fonctions impliquées ou impactées par le projet cherchent des intersections entre les solutions de manière à ce que le produit respecte les contraintes de tous les points de vue. La Figure 16 montre l'exemple de

l'application de cette recommandation dans la compagnie Toyota. En revanche, si l'approche était de communiquer la meilleure idée de chaque domaine, l'équipe de conception peut se trouver dans une situation de marier des idées localement optimales, mais inconciliables entre elles [99], [100].

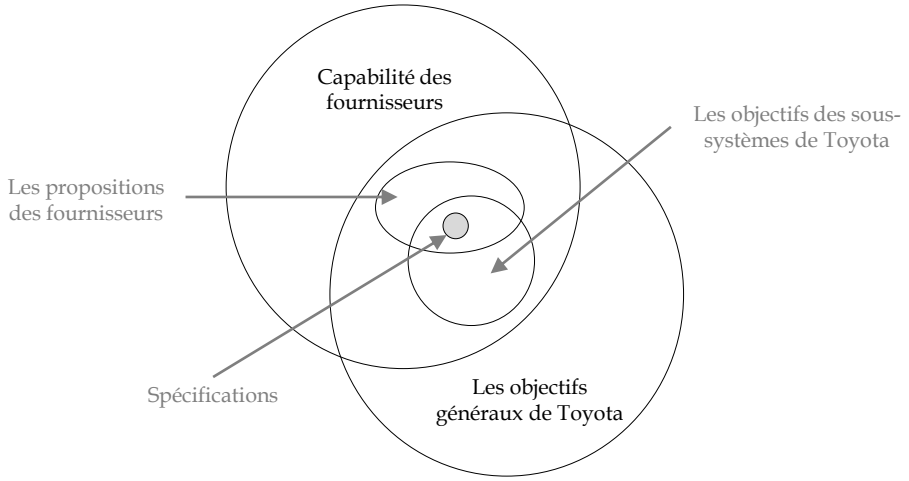


Figure 16 – Les intersections entre les possibilités permettent de définir les spécifications [100]

Ensuite, l'activité de chercher les intersections entre les solutions doit être guidée pour l'imposition d'un minimum de contraintes. Dans les approches traditionnelles, la création d'idées peut être limitée par plusieurs restrictions liées à la fonctionnalité ou à la fabrication. Normalement, ce type de définition a l'objectif de donner un fil conducteur aux différents domaines de la conception de manière à minimiser les boucles pour retravailler les interfaces ou interactions au sein du produit. En revanche, l'approche *lean* le principe de l'imposition d'un minimum de contraintes et la génération de plusieurs possibilités de solutions. Ainsi, les fournisseurs reçoivent, par exemple, des contraintes de volume physique et quelques paramètres de performance de leurs sous-systèmes ; le reste est libre pour l'expérimentation d'alternatives. La conséquence est la possibilité de génération d'innovations issues des spécialistes (individuels ou une entreprise) et des décisions prises tardivement mais avec plus d'informations [99]–[101].

Enfin, les concepteurs doivent chercher la robustesse des aspects physiques, de marché et contre les variations de conception. Cette recommandation est liée à l'idée de concevoir des systèmes qui fonctionnent correctement de façon indépendante des décisions prises par les autres domaines du projet. Ainsi, la conception peut avancer avec les activités en parallèle, en réduisant le temps total du projet aussi bien qu'en évitant des boucles pour ajuster les idées entre elles. Un exemple d'application de cette recommandation est d'avoir différentes options de style pour un produit dont les points de connexion avec les aspects techniques (comme un moteur) sont faites de la même manière et/ou dans les mêmes emplacements [99], [100].

Le troisième et dernier principe traite d'**Établir la faisabilité avant l'engagement**. Pour cela, la recommandation principale est de raffiner doucement les options, en équilibrant les nécessités d'apprendre et de décider. Les idées communiquées en listes sont éliminées petit à petit et à mesure

que le processus avance les détails de chaque système prennent forme. Les idées sont sélectionnées quand il existe des évidences de leur supériorité et cette sélection est communiquée vers les autres secteurs. Ainsi, en sachant que tous les secteurs sont en processus de convergence, la communication assure que tous vont dans une même direction. La Figure 17 présente une comparaison entre une approche basé sur la sélection de l'idée plus prometteuse (a) et le raffinement à partir d'une liste d'options (b) [72], [93], [99], [101]–[103].

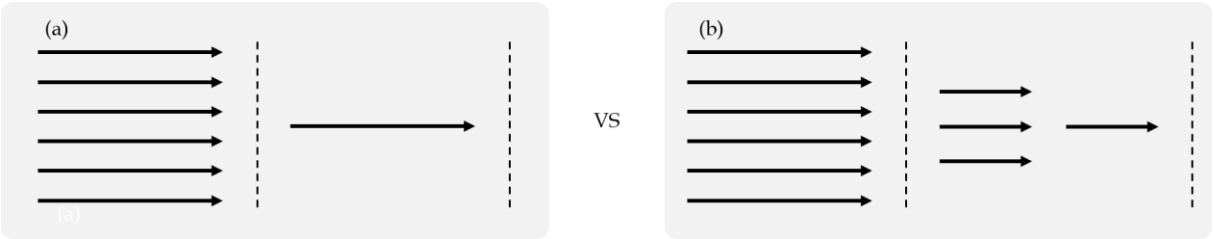


Figure 17 – La sélection de la meilleure idée (a) et Le raffinement depuis une liste (b). [93], [100]

Ensuite, l'équipe doit rester dans les listes une fois qu'on s'est engagé. Quand un secteur communique sa liste d'options pour un sous-système, ses solutions et son processus de raffinement doivent être clôturés dans les limites de cette liste. Cela évite les surprises pour les secteurs impactés par un sous-système donné d'avoir la nécessité de retravailler ses propres options pour s'adapter aux idées émergentes non communiquées [99], [101]. Finalement, l'application de ce principe est assurée par le contrôle par la gestion de l'incertitude dans les jalons du processus. Dans l'approche *lean*, le processus de conception est vu comme un flux continu d'informations avec des échanges d'information se produisant quand nécessaire. Cependant, la conception est un processus avec quelques incertitudes inhérentes telles que la taille de la liste d'idées en cours d'examen ou la profondeur des connaissances acquises tout au long du processus. Ces incertitudes sont gérées dans les jalons du processus qui consistent en des évènements d'intégration qui normalement ont lieu autour de prototypes [99], [100].

Une fois connus les concepts relatifs à la définition de la valeur et à la création d'alternatives et de leurs raffinement, nous allons nous concentrer dans le prochain paragraphe sur la façon d'établir les solutions finales de manière à ce qu'elles soient adaptées au processus de fabrication et aux attentes des utilisateurs. Cela comprend la standardisation pour l'offre d'une variété contrôlée de produits.

2.2.1.3 Standardisation du produit et du processus

L'approche choisie pour atteindre l'objectif d'avoir une variété de PA pour les PSH avec des prix abordables passe par une stratégie de conception et fabrication qui n'utilise pas les initiatives de personnalisation de produits ou de fabrication des produits sur mesure. Même si ce type d'initiative produit des résultats très satisfaisants en termes d'adaptation du produit aux besoins des utilisateurs, la mise en place de ce type d'initiative peut conduire à la proposition de produits trop chers, et donc ne répondant finalement pas totalement aux attentes des consommateurs.

En effet, les impacts de la variété de produits au sein d'une entreprise commencent à partir de sa conception. Le nombre de pièces à concevoir et à accorder entre elles à partir des prototypages et des tests est énorme. La coordination des fournisseurs, pendant la conception et aussi après le lancement du produit peut devenir une source de gaspillages de ressources [93]. Pendant l'étape de fabrication la variété de produits peut susciter des problèmes de management de pièces et composants, réduire la disponibilité de machines et équipements dû à la nécessité de les configurer pour la fabrication de différents produits et même générer des problèmes de qualité de produits comme les mauvais assemblages. De plus, lors de l'utilisation du produit, la variété de pièces peut être à l'origine de défaillances et de coûts de maintenance à la charge du fabricant ou de l'utilisateur. Finalement, même du point de vue environnemental, la variété peut produire des problèmes pour le recyclage, soit en termes de désassemblage du produit, soit par la présence de différents matériaux dans la composition d'un module.

Ainsi, un certain niveau de standardisation est nécessaire pour assurer un contrôle sur les coûts de fabrication, avoir une certaine prévisibilité des opérations de fabrication et des temps de livraison des produits [93]. Ainsi, même dans un système créé avec l'esprit d'augmentation de la variété de produits offerts aux clients, comme le cas du *lean*, un contrôle de cette variété est mis en place de manière à assurer un niveau de prévisibilité des opérations. En effet, il faut trouver un juste compromis entre les niveaux de variétés et de standardisation des patterns des produits. Pour cela, les principales stratégies utilisées sont présentés dans la Figure 18.

Figure 18 – Caractéristiques principales du management de la variété de produits [93]

Tout d'abord, l'initiative d'Utilisation de marchandises (*commodities*) est faite quand les concepteurs s'aperçoivent qu'un composant donné n'est pas essentiel pour la différenciation du produit au regard des clients. Ainsi, de tels composants peuvent être commandés à partir d'un catalogue d'un fournisseur avec un avantage significatif de coût. Ensuite, l'approche recommande que les concepteurs réutilisent des pièces parmi les différents modules, produits, famille de produits ou mêmes dans les versions ultérieures d'un même produit. En effet, le changement d'un composant n'est recommandé que quand il implique un changement positif dans la valeur perçu par le client [72], [76], [79], [93]. La Compagnie Toyota est conservative en termes d'introduction d'un nouveau composant. Les ingénieurs vont préférer l'utilisation d'un élément dont le fonctionnement est connu et acceptable [72].

L'utilisation de marchandises issues de catalogues et la réutilisation de pièces entre différents produits n'est possible que quand le produit est divisé en parties indépendantes. Ainsi, la littérature du *lean* recommande la sous-division du produit en différents modules et sous-ensembles avec des interfaces standardisées. La modularisation facilite aussi la conception en parallèle et indépendante de parties des produits, la variété de produits offerts et ainsi de suite. Finalement, pour être en mesure d'utiliser des modules sur plusieurs produits et maximiser la réutilisation des pièces, une entreprise peut faire usage de plateformes de produits. Elles sont des structures transversales utilisées par différents produits et servent de support pour les différents sous-ensembles. Ces plateformes permettent de combiner des modules avec des géométries et des interfaces standards d'une manière qui conduit à une grande flexibilité et des produits diversifiés [72], [76], [79], [93].

Un outil très utilisé dans le processus de conception *lean* est la liste de vérification (*checklist*). Il s'agit d'une base de connaissances très visuelle composée de livres volumineux de données d'ingénierie très minutieuses et complètes qui guident le travail de conception. Elles sont continuellement mises à jour avec des données accumulées au fil du temps sur les bonnes et les mauvaises pratiques de conception, les exigences de performance et la fonctionnalité du produit, les interfaces de conception critiques pour les caractéristiques de qualité, les exigences de fabrication, des règlements gouvernementaux et la fiabilité. D'un autre côté, le principe de standardisation n'est pas limité à la standardisation des patterns du produit. En fait, ce principe est divisé en trois axes d'actions, comme présenté dans la Figure 19. Les autres axes sont liés à la standardisation du processus de conception et le dernier est attaché à la standardisation de compétences des personnes impliquées dans la conception. Les trois types de standardisation interagissent entre elles pour améliorer la vitesse de la conception, ainsi que la flexibilité tout en permettant la construction d'une base de connaissances pour l'entreprise [72], [104], [105].

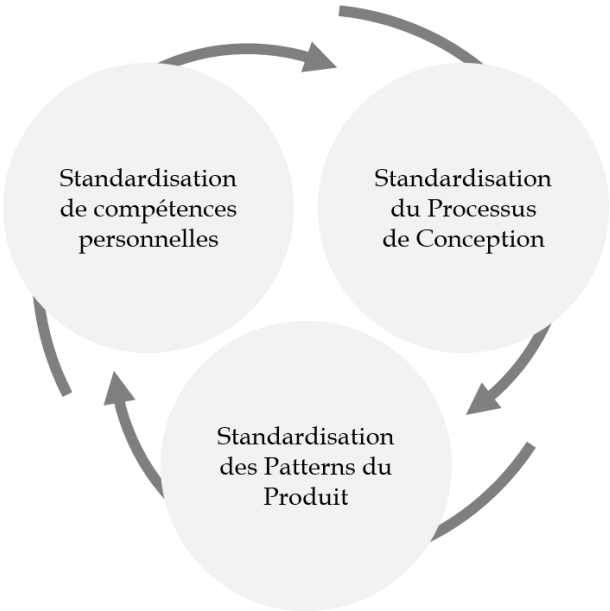


Figure 19 – Coordination des types de standardisation dans la conception *lean*. Adaptée de [104]

La standardisation du processus de conception peut être faite à partir de modèles de référence. Ils sont utiles pour guider l'application des principes et la méthode de conception, de sorte que les modèles sont des outils avantageux pour l'amélioration continue et pour la prévisibilité du processus. Ainsi, leur utilisation peut fournir de grands avantages concurrentiels aux organisations. Cependant, si le modèle est trop détaillé et imposé « de haut en bas », il y a une grande probabilité pour que l'idéal prescrit ne corresponde pas au processus qui se produit réellement tout au long de la conception. Ainsi, dans le contexte de la conception *lean*, de telles limitations aux modèles trop prescriptifs sont contournées au profit d'un modèle général avec peu d'étapes, prescrit par le CI et qui contient la prévision de dates limites pour chaque étape. Ensuite, chaque groupe fonctionnel planifie son propre travail [72], [104], [105].

Finalement, dans le système *lean* pour la conception de produits, les compétences personnelles sont aussi cible de travaux de standardisation. Cela ne veut pas dire que les ingénieurs seront soumis à une espèce de robotisation, mais cette standardisation est plutôt liée à un programme de tutorat où les professionnels les plus expérimentés partagent leurs connaissances avec les nouveaux concepteurs. De plus, la démarche *lean* assure une forte compétence technique dans un même sous-système des produits, de manière à ce que la rotation dans les postes techniques soit réalisée plutôt dans le même secteur [72], [104], [105].

En général, nous trouvons quelques types de structures pour l'organisation de la conception, telles que les structures de projet par comité ou celles très centralisées dans les fonctions spécifiques et qui produisent les dits « effets cheminée ». Un tel effet fait que le concepteur se clôture dans sa « cheminée » et qu'il s'implique avec une solution qui optimise son sous-système (un optimum local). L'approche lean évite de tels extrêmes de la standardisation et de la liberté. Quelques stratégies sont présentées dans le Tableau 23.

Focus de la standardisation	Cheminée extrême	Equilibre *lean*	Comité extrême
Compétences personnelles	Pas de rotation des ingénieurs	Rotation sur des intervalles plus longs que le cycle typique de produit, et seulement à des postes qui complètent l'expertise des ingénieurs	Rotation à des intervalles rapides
Processus de Conception	Nouveau processus de conception pour chaque produit Des formulaires complexes et des procédures très bureaucratiques	Des étapes standards – le CI décide le calendrier et les fonctions qui remplissent les détails des activités. Des formulaires standard et des procédures simples et élaborées par les personnes qui les utilisent et qui les mettent à jour quand nécessaire	Les calendriers du processus sont rigides, longs et détaillés Mise à jour des procédures pour chaque projet
Patterns du Produit	Les standards de conception rigides et obsolètes	Les standards sont maintenus par les personnes impliquées dans le travail et qui les laissent à jour sur la plateforme de connaissances de l'entreprise	Pas de standard pour la conception du produit

Tableau 23 – Comment éviter les extrêmes de la standardisation. Adaptée de [104]

En outre, nous trouvons important d'expliquer la relation entre la standardisation et les problèmes liés à la limitation de la créativité. Morgan et Liker défendent que la standardisation proposée dans les termes du *lean* ne limite pas la créativité des concepteurs. En effet, la mise en place de cette stratégie vise la concentration des processus créatifs dans les facteurs qui peuvent contribuer à l'amélioration de la valeur perçue par les utilisateurs du produit [72].

Nous avons traité dans ce paragraphe des aspects de l'approche de conception de produits issue de la philosophie lean qui nous semblaient utiles pour composer un modèle de conception de PA pour les PSH. Nous nous sommes focalisés surtout dans l'identification et la création de la valeur, l'exploration concourante d'alternatives et la standardisation du produit et du processus de conception. De manière à compléter cette réflexion sur l'harmonisation entre conception et fabrication d'une variété contrôlée de produits, nous allons discuter quelques aspects liés à la Customisation de Masse.

2.2.2 La Customisation de Masse

Les systèmes de Customisation de Masse (CM) peuvent être définis de manière plus large ou plus détaillée selon la vision des auteurs. Chacun d'entre eux va mettre en relief les différents aspects liés au processus de fourniture d'un produit selon les spécifications d'un utilisateur. De manière très large et dans une définition visionnaire, la CM était prévu comme un moyen de répondre à un grand nombre de clients comme celui des marchés de masse de l'économie industrielle, et en même temps, de les traiter individuellement comme dans les marchés sur mesure des économies préindustrielles [106].

Une telle définition visionnaire de la CM met en relief les aspects de changement de paradigme de fabrication, ce qui est tout à fait lié à un changement de la demande de produits de consommation. La Figure 20 présente l'évolution des marchés, en commençant par les marchés locaux, en passant par les marchés de masse, par la segmentation, par les marchés de niche, jusqu'à la customisation de masse. Plos [6], considère que les marchés de PA fonctionnent plutôt comme un marché de niche composée d'un petit groupe de clients ayant des caractéristiques et/ou des besoins similaires. En revanche, dans notre vision, ce marché a tendance à évoluer vers la CM.

De manière générale, d'autres auteurs remarquent que la CM est un paradigme qui combine des caractéristiques de la fabrication de produits en petite série typiques du contexte artisanal, avec le rapport coût-efficacité de la fabrication de masse [107]. C'est exactement ça qu'illustre la Figure 20. En effet, il est important de noter que l'utilisation d'un type de système de production dans un contexte n'exclut pas l'existence d'autres types de système dans une même entreprise. Ainsi, la CM et la fabrication de masse peuvent être des stratégies organisationnelles complémentaires. Dans ce sens, la Figure 21 présente la relation entre la Customisation de Masse et la Production de Masse pour un producteur de vélo qui utilise ces stratégies, chacune dans un endroit (usine ou ligne d'assemblage) différent.

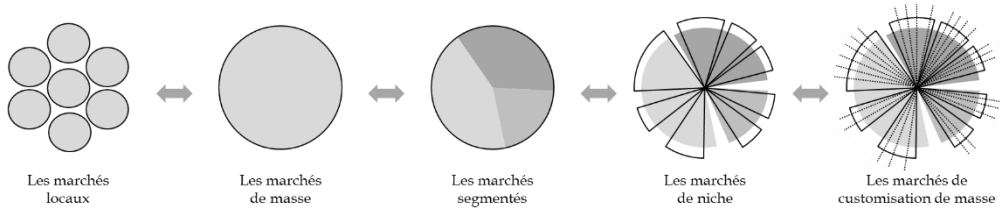


Figure 20 – Evolution des marchés jusqu'à la customisations de masse [106]

Dans ce contexte, l'entreprise utilise d'un processus de conception de produis centralisé qui élabore des options standardisés et personnalisables des produits. Le contact direct avec les clients de l'usine de customisation permet l'amélioration de propositions pour le marché de masse, une fois que les besoins plus pointus sont mieux identifiés dans la personnalisation. De l'autre côté, la standardisation pourra aider à contrôler la variété des opérations dans le contexte de la customisation. Enfin, ce partage de connaissance peut avoir lieu aussi dans le contexte de la gestion de personnel, où les ouvriers chargés de la personnalisation peuvent réaliser les activités pour la fabrication de masse et les meilleurs travailleurs dans ce contexte peuvent passer à l'usine de customisation [108].

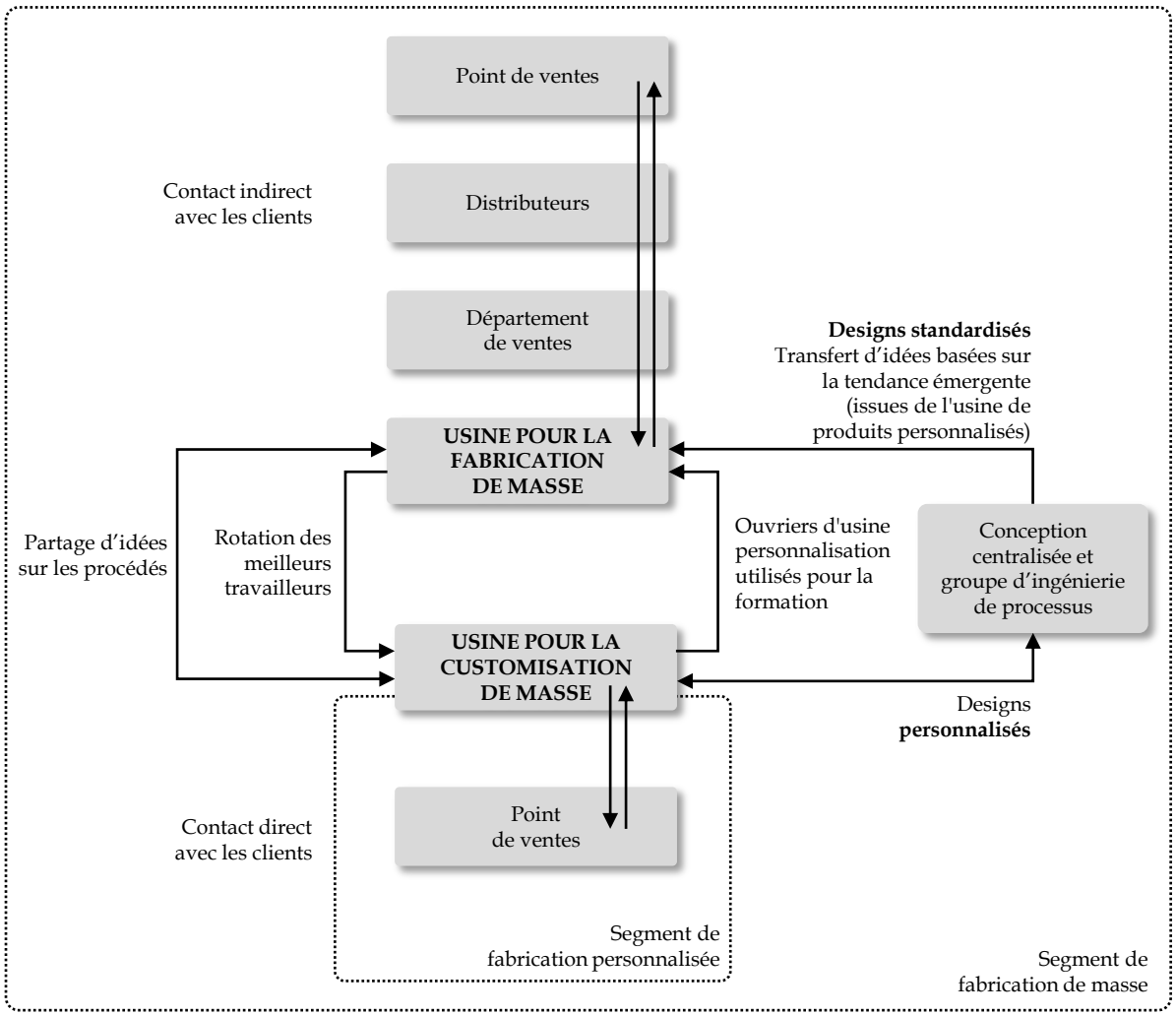


Figure 21 – Une interaction entre les systèmes de customisation et de fabrication de masse [108]

En retournant à la question conceptuelle, nous voyons que les définitions de CM présentées ne sont pas claires en termes d'explication sur les éléments à activer pour son application. Ainsi, une série d'auteurs proposent des définitions semblables et qui peuvent être proposées de la manière suivante : la CM peut être vue « comme un système qui utilise la technologie de l'information, des processus flexibles, et les structures organisationnelles pour offrir une large gamme de produits et services qui répondent aux besoins spécifiques des clients individuels (souvent définis par une série d'options), à un coût proche de celui trouvé dans les articles produits dans la fabrication de masse » [109]–[113].

Une définition plus précise et détaillée nous dit que la CM fait référence à un « processus de co-conception des produits et services, et qui répondent aux besoins de chaque client à l'égard de certaines caractéristiques du produit. Toutes les opérations sont effectuées dans un espace de solution fixe, caractérisé par des processus stables mais toujours souples ou flexibles. En conséquence, les coûts associés à la personnalisation permettent un niveau de prix qui ne signifie pas passer dans un segment de marché supérieur » [114]. De notre point de vue, cette dernière définition est très complète, mais elle échoue dans un détail : elle ne remarque pas que la CM est principalement une stratégie organisationnelle. Même si la CM n'est pas la seule façon de satisfaire la demande pour proposer une variété de produits [115], elle est centrée sur cet objectif via la conception modulaire, des processus flexibles, et l'intégration de la chaîne d'approvisionnement [116].

Ainsi, à partir des définitions présentées, nous pouvons détacher quelques éléments importants dans ce sujet, à savoir : que la CM est considérée comme une stratégie organisationnelle avec de profonds impacts sur la politique de conception, la fabrication et l'offre de produits et services ; que le processus de customisation est vu comme un lieu de co-création ; que chaque client est traité individuellement et cela implique des chargements de caractéristiques du produit dans un espace de solution stable ; et enfin qu'il existe une majoration de prix du produit par rapport à un tel processus mais qui est différente par rapport à la proposition des produits sur mesure.

Même si la CM est une stratégie applicable à une grande partie des industries ou entreprises, elle n'est pas une solution pour tous les cas [116], [117]. Les justificatifs pour le développement d'une telle stratégie sont basés sur quelques facteurs internes (comme leurs compétences) et externes (comme le contexte de l'industrie) à l'entreprise. Ainsi, des auteurs établissent une liste de facteurs externes et internes à l'entreprise pour le succès des initiatives de customisation de masse [112], [113], [115], [118].

Les facteurs externes peuvent être divisés en trois types :

- D'abord, il est nécessaire d'avoir les conditions de demande adéquates, telles que l'existence et/ou l'augmentation de la demande pour la variété de produits et aussi pour la customisation.
- Ensuite, une chaîne d'approvisionnement doit être mise en marche : pour cela la proximité physique pour le flux de matériel et l'interconnexion par réseaux d'information sont vues comme très importantes pour la réussite de l'initiative de customisation.

- Finalement, le marché concurrent doit aussi avoir quelques caractéristiques comme une dynamique de renouvellement des produits qui réduit le temps de cycle de vie des produits et élargit la compétition sans avoir une entreprise dominante en termes de customisation.

D'un autre côté, sur le point de vue interne :

- le premier aspect à considérer est que les produits doivent être personnalisables avec des options qui puissent vraiment exciter les clients à vouloir un produit individualisé. Pour être capables de proposer cela, les entreprises doivent faire des investissements de long-terme de manière à disposer de nouvelles technologies de fabrication et d'information flexibles pour livrer une plus grande variété sans avoir un grand impact en termes de coûts.

Finalement, il est nécessaire de développer une politique d'amélioration des compétences personnelles sur le long-terme, qui met à jour les propositions de nouveaux produits et processus de fabrication et de distribution [112], [113], [115], [118].

Le rassemblement de ces facteurs a permis d'aboutir aux initiatives de CM, de la même façon que le contexte japonais du marché de voitures a permis le développement du Système Toyota de Fabrication. Ainsi, de la même façon quelques éléments doivent être présents dans les initiatives de CM, comme les méthodes ; les processus comme l'élicitation de la demande, la conception, la fabrication et la coordination de la chaîne d'approvisionnement, les technologies de fabrication et d'information. Dans notre contexte de travail, certains éléments listés plus haut seront mis plus en avant que d'autres.

Concernant les méthodes, il est possible de dire que la CM ne présente pas ses propres méthodes d'activation. En général, les auteurs ont proposé l'emploi de l'approche *lean* pour l'obtention d'une personnalisation viable. Cela implique la mise en œuvre des principes, aussi bien que des éléments du *lean* comme la conception de produits, la gestion de la chaîne d'approvisionnement (y compris la fabrication) et les services d'après-vente [108], [113], [115], [116]. Ainsi, les facteurs présentés dans la Section 2.2.1 sont tout à fait adéquates à la réussite de la mise en place de la CM. De la même manière, les aspects liés à la coordination de la chaîne d'approvisionnement et aux technologies de fabrication et d'information ne constituent pas les apports principaux de la recherche. Ceux-ci seront récupérés de l'approche *lean*.

Ainsi, pour avancer sur l'analyse d'éléments qui peuvent participer à la proposition d'une méthode pour la conception de PA pour les PSH, nous allons nous concentrer sur les aspects de la CM comme les propositions de customisation possibles, le processus d'élicitation de la demande et la valeur perçue et la conception des produits avec la tentative d'accorder les besoins des utilisateurs en atténuant les pertes de performance des opérations de fabrication et de logistique.

2.2.2.1 *La proposition de customisation : les niveaux, les emplacements et les types*

Certains auteurs puristes voient la customisation des produits juste comme une question d'existence ou d'absence de cette même customisation. De façon plus pragmatique, d'autres auteurs voient cette question comme une échelle de la personnalisation possible [113]. Mais nous vérifions que cette question va au-delà des aspects de différents niveaux de customisation, elle touche aussi deux autres aspects importants comme l'endroit où la customisation se produit et les types de customisations proposées aux clients [114], [119].

D'abord, Pine propose que la customisation se fasse en étapes croissantes comme l'illustre la Figure 22 [120], par rapport aux critères du degré de transformation organisationnelle et turbulence du marché. Dans sa vision, la customisation commence par « les services sur mesure autour des produits ou des services standardisés ». Cette initiative est la plus facile à mettre en place si ces initiatives ne changent pas le format des activités déjà en place. Cela peut être l'ajout de fonctionnalités, la combinaison de différents produits complémentaires ou d'autres services qui donnent une attention individualisée aux usagers. Ensuite, l'auteur suggère que le niveau suivant soit la « personnalisation intégrée », autrement dit, les produits standards qui peuvent être modifiés par les clients lors de l'utilisation. Par exemple, ajuster la taille d'un bâton de marche ou la hauteur d'une selle de vélo.

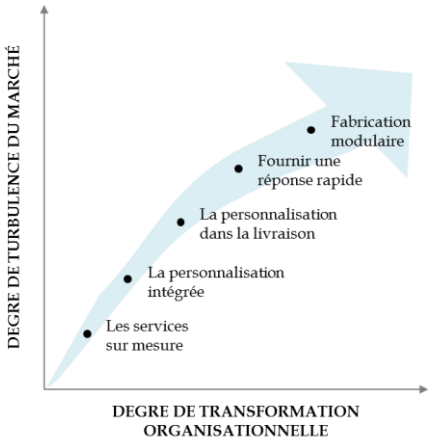


Figure 22 – Niveaux croissants de la Customisation de Masse [120]

Pour Pine, le niveau qui suit est la « personnalisation créée dans le point de livraison ». Il est considéré le plus approprié pour les offres qui ont une caractéristique inhérente individuelle faite à partir d'un produit relativement standard. La partie standard peut être fabriquée de manière centralisée et la touche de personnalisation est un travail supplémentaire faite dans le point de vente. L'avant dernière proposition dans la progression des niveaux est de « fournir une réponse rapide » à travers la réduction des temps nécessaires pour réaliser les processus internes de l'entreprise. Ce gain d'efficacité permet la création de variété par exemple à partir de l'augmentation de disponibilité des machines de fabrication ou par l'accélération de la conception des produits. Finalement, pour l'auteur, le dernier

niveau de la CM est la « fabrication modulaire » où plusieurs composants standards peuvent être configurés dans une grande variété de produits et services [120].

Spira [121] développe un cadre assez similaire avec quatre types de personnalisations, à savoir : l'emballage personnalisé, les services personnalisés, le travail supplémentaire de personnalisation et l'assemblage modulaire. De leur côté, Gilmore et Pine [122] voient l'aspect de niveaux de customisation à partir d'observations empiriques et ils définissent leur vision des approches de personnalisation en fonction de deux variables : la représentation (la façon dont le produit est présenté ou représenté au client) et le produit lui-même (fonctionnalités). Ainsi, les auteurs définissent les approches de personnalisation (adaptive, cosmétique, transparente et collaborative) à partir de la combinaison de l'existence ou non de changements dans ces deux variables, comme présenté dans la Figure 23.

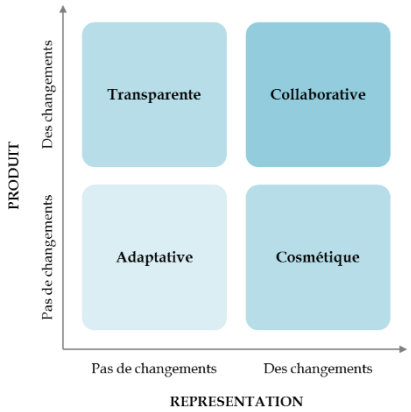


Figure 23 – Les quatre approches de la Customisation de Masse [122]

Dans l'approche adaptative, les produits standards sont conçus pour que ses paramètres puissent être modifiés par les clients lors de l'utilisation sans avoir de changement dans la représentation et dans le produit lui-même. Ensuite, dans l'approche dite cosmétique, les produits standards sont emballés spécialement pour chaque client avec un changement important de représentation. A son tour, l'approche transparente établit que les produits doivent être modifiés selon les besoins individuels, avec un grand changement des produits, mais sans changement de représentation. Finalement, dans une approche collaborative les changements sont grands en termes de produits et de représentation et ils se produisent à partir d'un intense dialogue entre les concepteurs et les clients [122]. A son tour, Lampel et Mintzberg [123] proposent cinq stratégies de personnalisation qui vont de la standardisation pure jusqu'à la customisation pure comme montre la Figure 24.

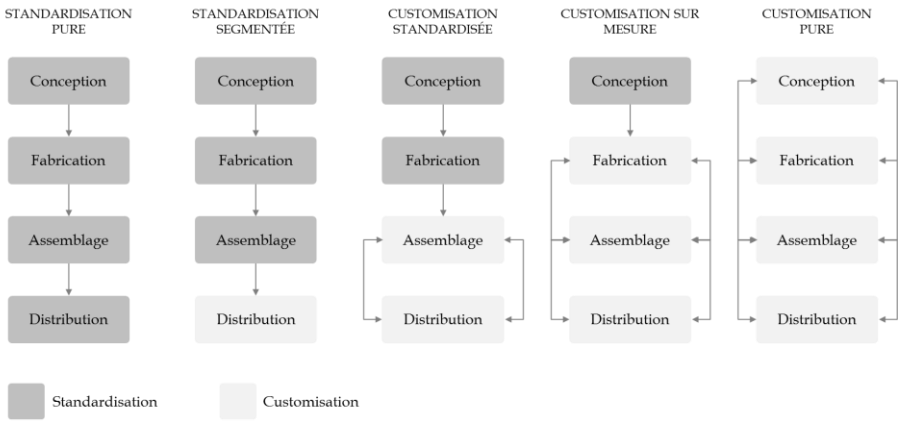


Figure 24 – Stratégies de Customisation de Masse [123]

Cette typologie de Lampel et Mintzberg [123] fait référence aux emplacements où la customisation a lieu. Elle est étroitement liée aux changements de marchés présentés dans la Figure 24. En outre, elle a aussi la caractéristique d'être une échelle où les niveaux de personnalisation grandissent en parallèle au pouvoir d'influence des consommateurs. Voyons les définitions de chaque niveau [123] :

- La standardisation pure – l'offre est basée sur une conception d'un produit qui cible le groupe le plus large possible de clients et qui est fabriqué sur une large échelle et distribué également à tous.
- La standardisation segmentée – est la réponse des entreprises au marché comportant plusieurs profiles d'utilisateurs. Ainsi, la variété est réalisée à travers la conception d'une base qui est modifiée pour répondre aux modifications selon la demande, uniquement lors de la distribution.
- La customisation standardisée – il s'agit de l'assemblage de différents produits à partir de la commande des clients en utilisant des composants complétement standardisés.
- La customisation sur mesure – il est une approche normalement basée sur la présentation de prototypes aux clients qui seront ensuite adaptés aux désirs et besoins de ceux-ci.
- La customisation pure - les souhaits des clients pénètrent profondément dans le processus de conception lui-même et le produit est vraiment fabriqué sur commande personnalisée.

Dans le même sens, une étude réalisée par Tien focalise son analyse sur le point de pénétration de la commande du client vis-à-vis de la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, dans une chaîne divisée entre le fournisseur, le fabricant, l'assembleur, le revendeur et le client, le pouvoir d'influence de ce dernier sur l'état final du produit va définir le point de pénétration. Donc, si la customisation se produit juste chez le client, l'auteur affirme que le produit est fabriqué en masse et aucune modification de customisation n'a été permise. Ensuite, si le point de pénétration est au niveau du revendeur, les produits subissent une production normale jusqu'au stockage, et simplement des petites modifications sont possibles. A son tour, quand ce point d'influence va jusqu'à l'assembleur, normalement le produit est assemblé sur demande et une CM partielle est possible. Quand les consommateurs peuvent avoir une influence sur la fabrication, la production à la demande permet l'aboutissement d'une CM. Finale-

ment, quand la pénétration va jusqu'aux fournisseurs, l'auteur dit que nous sommes dans une situation de customisation en temps réel. En revanche, l'auteur affirme que cette dernière est une définition plus théorique que pratique.

Finalement, Silveira et al. [113] proposent une liste avec huit niveaux de personnalisation possibles dans le cadre de la CM. Pour cette proposition, les auteurs font un résumé des différentes recherches de manière à proposer une liste plus fluide et continue des niveaux possibles de personnalisations (Tableau 24). Conjointement avec la liste citée, les auteurs proposent des relations entre chaque niveau et les autres propositions théoriques. Nous avons ajouté dans cette analyse l'aspect de pénétration de la commande ou du lieu où se produit la personnalisation.

Il est aussi possible de voir cette question de CM du point de vue des personnalisations possibles offertes aux consommateurs. Ainsi, elles peuvent être mises en place pour questions de style ; pour l'adaptation et le confort ; et pour la fonctionnalité. Toute d'abord, les modifications de **style** ont l'objectif de rendre les produits plus attractifs au regard du consommateur et cela peut inclure des modifications comme la sélection de couleur, d'application, de coupes et ainsi de suite.

Niveaux de Customisation	Définition	Relation avec les propositions théoriques	Pénétration de la commande [120]
Conception	Cela se réfère à de projets réalisés en collaboration avec les clients et en fonction de ses préférences personnelles et dont les résultats sont classés comme le plus haut niveau de personnalisation	Semblable aux approches collaborative et transparente [122] et identique à la customisation pure [123]	Fabricant
Fabrication	Cela se réfère à la fabrication de produits sur mesure suivant modèles de base, prédéfinies	Identique à la personnalisation sur mesure [123]	
Assemblage	Il s'agit de la réorganisation de composants modulaires dans des certains configurations selon les commandes des clients	Analogue à la fabrication modulaire [120] à la customisation standardisée [123] l'assemblage modulaire [121]	Assembleur
Personnalisation supplémentaire	Cela fait référence aux travaux supplémentaires de personnalisation que peuvent avoir lieu dans le point de livraison d'un produit donné	Personnalisation créée dans le point de livraison [120], Personnalisation supplémentaire [121]	Revendeur
Services supplémentaires	Cela fait référence à des services supplémentaires que peuvent avoir lieu dans le point de livraison d'un produit donné	Les services personnalisés, personnalisation créée dans le point de livraison et fournir une réponse rapide [120], le Personnalisation supplémentaire [121]	
Emballage et distribution	Cela fait référence à fournir le même produit de plusieurs manières telles que des différentes tailles ou types d'emballages selon des demandes des marchés spécifiques	Cosmétique [122], standardisation segmentée et l'emballage personnalisé [121]	
Utilisation	Cela fait référence aux produits qui peuvent être adaptés pour réaliser des différentes fonctions et s'adapter à des différentes situations (après la vente)	Adaptative [122], personnalisation intégrée [120],	Consommateur
Standardisation	Cela fait référence à une standardisation pure du produit, où les modifications de caractéristiques produites ne sont pas possibles	Standardisation pure [123]	

Tableau 24 – Niveaux de personnalisation dans la Customisation de Masse. Adapté de [113]

Ces types d'initiatives sont considérées comme faciles pour l'implémentation parce qu'elles demandent un point de divergence assez tardif. En revanche, quelques enquêtes montrent qu'un tel type de personnalisation ne trouve pas un fort appel vis-à-vis les utilisateurs. Les raisons identifiées pour justifier ce phénomène sont l'existence des goûts personnels et le nombre de personnes qui souhaitent vraiment d'être uniques [114].

Ensuite, le deuxième type de personnalisation est lié aux **adaptations et confort**. Il s'agit d'ajustements liés aux morphologies de l'utilisateur ou pour que le produit soit adapté aux dimensions de l'environnement. Cette initiative fait référence aux contraintes physiques qui sont considérées comme un des arguments les plus forts en faveur de la CM. Malgré tout, cette personnalisation est la plus difficile à mettre en place car il existe d'énormes difficultés et demandes technologiques pour identifier les variables dimensionnels et pour la ré-conception du produit. Des impacts dans l'espace de solution et dans l'efficacité de la fabrication et de l'assemblage sont inévitables. Troisièmement, les changements de **fonctionnalités** abordent des questions comme vitesse, précision, puissance, interface, connectivité ou des autres sujets de nature technique. Cette dimension est souvent négligée, figurant comme la moins utilisée dans la customisation malgré son application, du point de vue de la fabrication, considérée assez facile dans beaucoup de cas [114].

Finalement, même si les possibilités nous semblent infinies et que l'idée de variété peut passionner les chercheurs, les entrepreneurs ou les gestionnaires, l'aspect pragmatique nous indique que la CM et la variété de produits doivent être menés de manière à ajouter de la valeur perçue au client. Ainsi, les aspects valorisés par les consommateurs doivent être bien identifiés et leur mise en œuvre doit être faite avec un contrôle des impacts sur toutes les opérations de la chaîne de création de la valeur. Ces aspects seront discutés dans les prochains paragraphes.

2.2.2.2 Élicitation de la demande et la valeur perçue

A partir des définitions présentées dans la partie précédente, nous voyons que la CM nécessite la participation de l'utilisateur dans le processus. Notons que dans la CM, le concept d'espace de solution est différent de celui utilisé dans la conception *lean*. Dans la CM, il fait référence aux différentes offres faites aux consommateurs. En revanche, dans le *lean*, il représente les alternatives de solution du produit en cours de conception. Pour la définition de cet espace de solutions, « une entreprise qui souhaite mettre en place la stratégie de CM doit d'abord identifier les besoins de ses clients, en particulier les attributs du produit au sujet desquels ces besoins divergent le plus » [117]. Ce processus a deux parties : une partie faite a priori et de façon autonome par l'entreprise et un processus d'élicitation postérieur. Ce dernier est un mécanisme permettant d'interagir avec le client et obtenir des informations spécifiques pour concevoir et pour produire des produits personnalisés [114]–[116].

L'élicitation est très dépendante des technologies comme les configurateurs de produits (logiciels qui permettent aux usagers de faire le choix de configuration du produit), qui permettent le flux adéquat

de commandes réalisées et aussi la construction d'une base de données sur les demandes et préférences (surveillance du processus de configuration) [115]. La Figure 25 montre le rôle du processus d'élicitation dans le processus de customisation lors de l'achat et dans le renouvellement des spécifications du produit dans sa conception.

L'élicitation n'est pas un processus facile parce que les clients ne sont pas forcément des spécialistes du type de produit dont ils ont besoin et cela crée beaucoup d'indécisions lors de la sélection, de la configuration et de l'achat du bien. Dans ce contexte, le processus d'élicitation doit être astucieux pour aider le client à trouver ou à configurer l'option de plus adéquate à ses intérêts. D'un autre côté, dans la perspective de l'entreprise, le coût de la CM inclut deux facteurs : le coût pour fournir une haute flexibilité de la fabrication et le coût pour éliciter les préférences des consommateurs [114].

Le niveau de difficulté d'élicitation va dépendre des informations demandées, et par rapport à cela, nous trouvons quatre types d'élicitation : l'**identification personnelle**, les **sélections des consommateurs à partir d'un menu d'alternatives**, les **mesures physiques** et les **prototypes** [116].

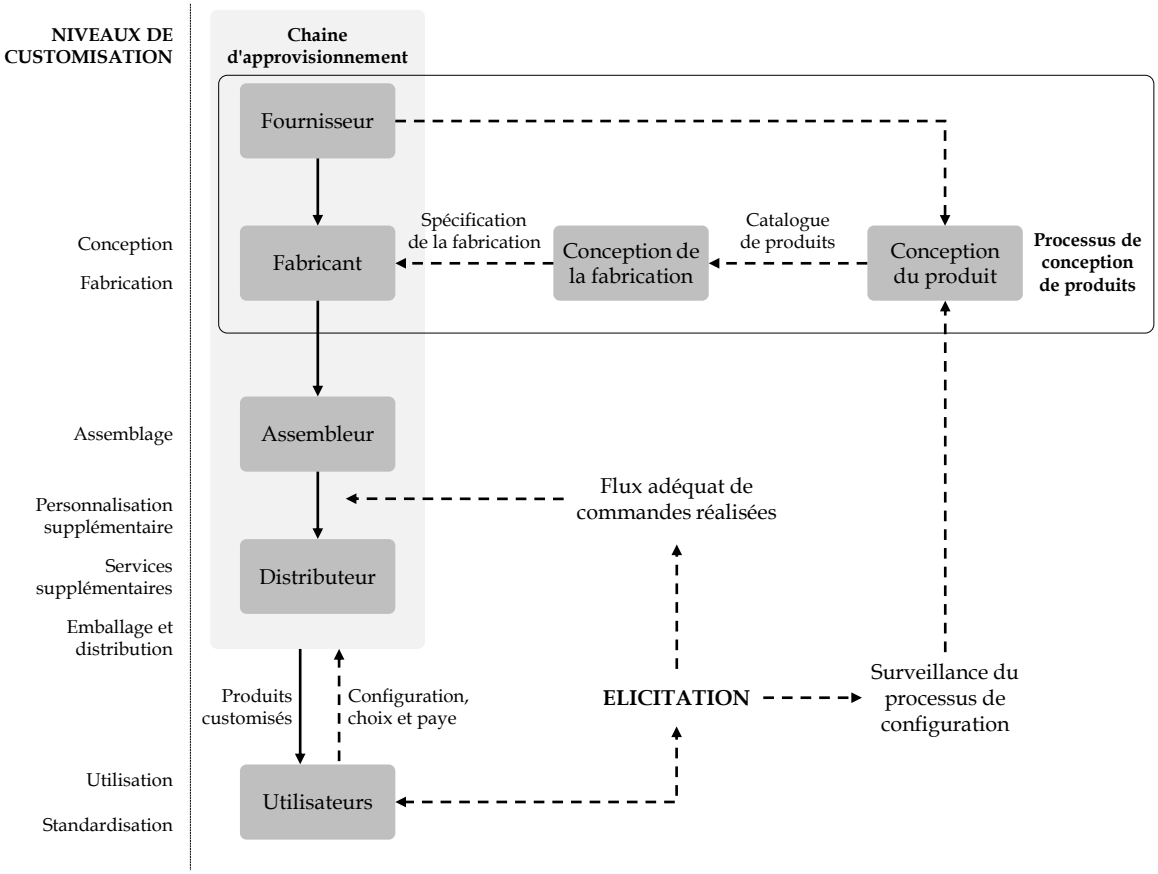


Figure 25 – Influence du processus d'élicitation. Après [42], [113], [119], [124]

Les deux premiers types d'élicitation se concentrent sur des applications sur ordinateur et internet. A partir des progrès réalisés au niveau des interfaces utilisateur, il est maintenant possible de construire un programme pour traduire les préférences d'un grand nombre de clients en variantes uniques de produit de manière peu coûteuse. Ces outils collectent des données des transactions des clients, et

mêmes des configurations de produits faites et abandonnées par certains clients. Analyser ces informations permet d'identifier et/ou de déterminer les préférences des clients. Comme conséquence, il est possible de raffiner l'espace de solution en éliminant les options rarement exploitées ou sélectionnées et en ajoutant plus d'options pour les choix les plus populaires [116], [117].

A son tour, les systèmes pour la CM nécessitent quelques informations du consommateur, comme par exemple ses mesures physiques. Elles sont prises manuellement par un service ou par le consommateur, ou de façon plus automatisée, avec des scanners optiques. Les deux types de systèmes sont encore considérés comme lents et assez coûteux. De plus, le processus est considéré comme chronophage [116].

Enfin, nous trouvons l'utilisation de prototypes physiques ou virtuels pour l'élicitation des préférences à partir des réactions des consommateurs [116]. Il s'agit d'une méthode assez efficace mais chère et chronophage permettant d'impliquer les clients dans la construction de biens physiques, via des tests et des évaluations de prototypes. En revanche des tests virtuels de concepts commencent à prendre de l'importance via la création de prototypes virtuels et leur évaluation. Cette approche permet une économie financière et un gain de temps vis-à-vis de la confection de prototypes physiques [117]. Par exemple, Carulli et al. [125] ont mené une expérience de conception où la « voix du consommateur » (ses préférences, besoins ou goûts) a été intégrée à partir du prototypage virtuelle et ils ont conclu que le niveau des solutions conçues a été similaire à celui produit dans les processus de conception plus traditionnels. De plus, ils ont observé des réductions de temps et de coût de conception par rapport au processus de prototypage physique et aussi l'amélioration de la communication d'idées entre les concepteurs et les utilisateurs. Malgré tous les efforts des entreprises pour l'élicitation de la voix des clients, plusieurs d'entre elles échouent dans leur initiative de CM. Quelques auteurs étudient le phénomène pour comprendre ses causes. Piller [114] explique que la plupart des entreprises focalisent leur attention juste dans l'offre de customisation, mais pas pour fournir de la valeur durable pour ses clients.

Plus les préférences des clients sont hétérogènes plus ils seront sensibles à la customisation. Ainsi, les entreprises doivent d'abord analyser l'hétérogénéité des besoins des clients et l'évolution des besoins sur du long terme. Si l'hétérogénéité est grande, la personnalisation de masse pourrait fournir une énorme valeur supplémentaire, parce que les clients ayant des besoins très différents sont susceptibles d'opter pour la personnalisation, augmentant ainsi la probabilité de succès. Autrement, si l'hétérogénéité est faible, il serait plus intéressant pour les fabricants de concevoir un produit qui convient à toutes les personnes [114], [126].

L'existence d'une demande du marché pour une variété de produits est un facteur nécessaire mais pas suffisant pour l'implémentation fructueuse de la stratégie de CM. En effet, il existe d'autres aspects liés au consommateur, que les fabricants doivent prendre en compte, tels que quelques aspects négatifs (du point de vue de l'utilisateur) comme le prix du produit customisé (plus élevé que celui des

produits standards). En plus, il existe quelques coûts émotionnels pour les utilisateurs qui sont liés au processus de customisation. D'abord, nous pouvons citer l'anxiété liée à l'incertitude sur le fait que la participation dans le processus aboutira vraiment à un résultat positif. Une autre source de difficultés peut être des configurateurs pas faciles à utiliser. Ainsi, quelques facteurs sont vus comme des problèmes que conduisent les consommateurs à une « confusion de masse » [114], [127], tels que :

- Le fardeau du choix - la capacité de l'être humain à traiter l'information est limitée, ainsi avoir trop d'options pour choisir peut tout simplement conduire à une surcharge. Ainsi, quelques utilisateurs peuvent retarder leur achat, ou abandonner la liberté de choisir et se décider, soit pour des produits standards, soit pour les assemblages proposées initialement par un logiciel configurateur [117], [128]. En effet, être exposé à beaucoup de choix peut même mener la personne à ne pas attribuer de la valeur aux options disponibles, ou même réduire la valeur perçue. Une des raisons pour cela est que la majorité des personnes veulent plus de contrôle sur les détails de leur vie, y compris le contrôle sur les options d'achat, mais la majorité des gens veulent aussi simplifier leur vie. Ceci est le « paradoxe du choix ». Pour cette raison, l'entreprise doit accompagner les clients à identifier leurs propres besoins, proposer des outils de navigation entre les choix et créer des solutions tout en réduisant la complexité et le fardeau du choix [117], [129], [130] ;
- La correspondance entre les besoins des utilisateurs et les spécifications du produit – le problème du fardeau du choix est amplifié par cette question. En fait, les utilisateurs manquent généralement de connaissances nécessaires pour faire une sélection bien ajustée ou pour savoir transférer leurs besoins et désirs personnels dans la spécification explicite du produit [114], [127]. Si nous considérons les trois types de personnalisation (style, adaptations et confort, et fonctionnalité), la myriade d'options est énorme, ainsi que les connaissances demandées pour faire la personnalisation adéquate.
- Le manque d'informations sur le comportement du fabricant – pour la majorité des utilisateurs, la personnalisation d'un produit est un processus mystérieux, parce que nous sommes plutôt habitués à choisir les options sur le lieu de vente avec l'aide d'un vendeur expérimenté dans le domaine. En effet, dans la plupart des cas, la customisation implique de faire confiance au fabricant pour acheter et payer un produit qui n'a pas été essayé, mais juste configuré par l'intermède de logiciels spécialisés. De plus, il existe l'insécurité des utilisateurs par rapport aux processus de garantie du produit et/ou liées aux droits en cas d'insatisfaction lors de l'usage. En fait, changer la configuration d'un produit peut être vu comme problématique pour les droits du consommateur parce que participer à la configuration peut mener une entreprise à être moins compréhensive en cas d'insatisfaction [114], [127].

Ainsi, ces aspects listés doivent être pris en compte par l'entreprise lors de la proposition de produits personnalisables. En revanche, la customisation est récompensée par quelques facteurs valorisés par les utilisateurs d'un produit, comme avoir un produit bien ajusté aux besoins et aussi avoir le plaisir de co-concevoir le bien acheté [127], [131]. De cette manière la valeur perçue revient comme l'aspect

important à identifier et à mettre en place à travers des produits et services offerts aux clients. La valeur est aussi l'information la plus importante à identifier dans le processus d'élicitation.

La valeur pour les consommateurs est le résultat d'un jugement évaluatif donné par une préférence relativiste provenant d'une expérience d'interaction. Ainsi, pour la réalisation du jugement, l'interaction entre un sujet (l'utilisateur) et un objet (le produit) est nécessaire. Cette interaction comporte trois niveaux : (1) comparatif entre différents objets ; (2) personnel, en sachant que l'évaluation change entre les personnes ; (3) et situationnel, parce que cela dépend de la situation dans laquelle l'évaluation a lieu [132]–[134].

En effet, la valeur pour le consommateur est un sujet très étudié et plusieurs propositions de définition, de dimensions et de mesures ont déjà été faites. Ainsi, la valeur peut être vue comme un facteur unidimensionnel, plutôt lié à l'utilité pratique d'un produit envers un client [134], [135]. Cependant, ces approches ne reflètent pas la complexité de la perception de la valeur des consommateurs, en particulier ils ne parviennent pas à prendre en compte des facteurs intangibles et/ou émotionnels qui en font partie [134]. Ainsi quelques approches multidimensionnelles ont été développées de manière à englober cette complexité dans la compréhension du phénomène de l'évaluation de la valeur. Néanmoins, les deux types d'approches sont considérées comme complémentaires et utiles. Le Tableau 25 présente une comparaison entre les approches sur la nature de la valeur perçue.

Nature unidimensionnelle	Nature multidimensionnelle
Théorie économique et de la psychologie cognitive	Psychologie du comportement du consommateur
Conception utilitariste et économique	Conception comportementale
Approche cognitive	Approche cognitive-affective
Simplicité	Richesse et complexité
Connaissance sur comment la valeur est évaluée	Direction spécifique sur comment améliorer la valeur
Absence de consensus sur les antécédents de la valeur	Absence de consensus sur les composantes de la valeur
Confusion au sujet de la relation entre les antécédents	Confusion à propos de la relation entre les composants
Observation directe de la valeur	Observation de la valeur grâce à ses composants
Largement adoptée dans la littérature	Difficilement adoptée dans la littérature

Tableau 25 – Comparaison entre les approches sur la nature de la valeur perçue [134]

Différents aspects de la valeur sont présents dans une approche de la valeur de nature multidimensionnelle. De tels facteurs se présentent aussi de manière différente dans chaque étape du cycle de vie du produit (la recherche, la sélection, la configuration et ainsi de suite). Holbrook [132], [133] propose une typologie qui considère plusieurs composantes de la valeur perçue et elle est une approche considérée comme la plus globale sur la vision de la valeur [134].

La perception de la valeur de Holbrook peut être divisée en deux dimensions : l'orientation de la consommation et ce que le produit signifie pour son propriétaire. Ainsi, la consommation peut se faire au bénéfice de l'utilisateur lui-même, étant auto-orientée ; ou au bénéfice d'autres personnes, étant orien-

tée vers les autres. En outre, le produit peut être considéré comme un moyen pour une fin (caractéristiques extrinsèques) ou considéré comme une fin en soi (caractéristiques intrinsèques) [132], [133]. Le croisement de ces variables est à l'origine de la proposition d'une typologie de la valeur perçue par les clients, présentée dans le Tableau 26.

Orientation	Caractéristiques extrinsèques	Caractéristiques intrinsèques
Auto-orientée	Valeur économique (efficacité et excellence du produit)	Valeur hédonique (plaisir de l'usage et beauté esthétique)
Orientée vers les autres	Valeur sociale (statu et estime due à la possession du produit)	Valeur altruiste (étique et spiritualité de la consommation)

Tableau 26 – Types de valeur perçue par les consommateur [132]

La valeur économique (auto-orientée et extrinsèque) couvre l'efficacité du produit dans l'exercice de ses fonctions, aussi bien que la qualité du produit ou son excellence. Ensuite, la valeur sociale (orientée vers les autres et extrinsèque) fait référence au statut personnel, renforçant une impression favorable et évoquant une estime personnelle liée à la possession du produit. Après, la valeur hédonique (auto-orientée et intrinsèque) est relative aux plaisirs liés à l'utilisation du produit et au plaisir esthétique aussi réveillé par le dispositif. Enfin, la valeur altruiste (tournée vers l'autres et intrinsèque) implique une consommation engagée en termes d'éthique et même de spiritualité, autrement dit, il s'agit d'une autojustification de la consommation [132].

Une autre dimension de l'appréciation de valeur est liée à ses caractères actif ou passif. En effet, l'évaluation de la valeur peut impliquer une manipulation physique ou mentale de certains produits par l'utilisateur. Ainsi, cet aspect implique des actions de l'utilisateur envers ou avec un produit lors d'une expérience de consommation. En revanche, l'appréciation de valeur est passive quand elle est le résultat d'une appréhension, appréciation, admiration ou une autre réponse à certains objets. Il s'agit donc aux impression qu'un objet fait à l'utilisateur [133].

Du point de vue de la CM, cette évaluation de la valeur a quelques particularités, comme d'avoir un produit customisé et le plaisir de co-concevoir ce produit. Merle et al. [136] pointe « qu'avant et pendant le processus d'élicitation dans un système de CM, les clients anticipent la valeur qu'ils tireront de la consommation du produit ». Les auteurs indiquent trois avantages d'avoir un produit personnalisé : les valeurs utilitaires, le caractère unique et l'auto-expression. Ensuite, par rapport au processus de co-conception, deux avantages ont été identifiés : la valeur hédonique et la valeur de réalisation créative. Les définitions de chaque aspect de la valeur dans un contexte de CM sont présentées dans le Tableau 27.

Avantages perçus	Définition
Valeurs utilitaires	Valeur acquise de la proximité de l'ajustement entre les caractéristiques du produit et les préférences individuelles
Caractère unique	Valeur acquise de la possibilité d'affirmer le caractère unique individuel en utilisant le produit personnalisé

Auto-expression	Valeur acquise de la possibilité de posséder un produit qui reflète la personnalisé de l'utilisateur
Valeur hédonique	Valeur acquise des capacités à répondre aux besoins liés à la jouissance, le plaisir, ou au loisir
Valeur de réalisation créative	Valeur acquise par le sentiment d'accomplissement lié à la réalisation réussie de la tâche de création (co-conception)

Tableau 27 – Les avantages de la Customisation de Masse perçus par les clients [136]

Finalement, une fois que les aspects de la valeur pour l'utilisateur ont été identifiés, le processus de conception évolue vers la détermination des fonctions qui répondront aux exigences identifiées et aussi vers la création de conceptions alternatives pour le produit. Enfin, les différents concepts sont incarnés dans une architecture de produit flexible, ce qui signifie le système par lequel les éléments fonctionnels du produit sont disposés en ensembles physiques, et par lequel ces ensembles interagissent [137]. Les aspects ou dimensions de la valeur ont été discutés dans ce paragraphe et leur mise en application sera l'objet d'analyse du paragraphe prochain.

2.2.2.3 Conception pour la Customisation de Masse

En général, la standardisation est attractive et avantageuse pour les entreprises en termes de prévisibilité et d'efficacité des processus de fabrication et de logistique. Cependant, quelques facteurs environnementaux peuvent conduire une organisation donnée à s'organiser pour la variété, comme l'adaptation des produits à une variété demandée localement ou l'adaptation d'un produit aux caractéristiques de marchés mondialisés. En fait, vendre le même produit dans plusieurs pays peut signifier l'adapter aux goûts et aux régulations locales. Ainsi, la stratégie de standardisation peut être un problème pour répondre à ces types de situations, et la CM se présente comme une alternative intéressante [138].

Nous avons vu précédemment que trois types d'adaptation sont recherchés dans la CM : le style, l'adaptation et le confort, et la fonctionnalité. Ces adaptations sont étroitement liées aux sujets discutés dans le paragraphe précédent, notamment la valeur pour l'utilisateur. En effet, ces aspects doivent être traduits en fonctions qui seront réalisées par le produit, autrement dit ce que les éléments d'un produit vont « faire », soit à partir d'une action humaine soit de manière passive. Ensuite, les fonctions vont passer par un nouveau processus de conversion vers la solution finale d'une architecture du produit avec ses variantes. Cependant, les conversions d'un type d'information vers un autre sont des étapes très critiques dans le processus de conception de produits. Par exemple, convertir la définition de la valeur pour l'utilisateur en fonctions du produit, puis de celles-ci en entités présentes dans l'architecture du produit peut contenir beaucoup de problèmes comme des mauvaises interprétations et des priorisations inadéquates.

Ainsi, pour bien prendre en compte les dimensions multiples de la valeur, la modélisation fonctionnelle du produit doit être la plus complète possible, en intégrant (si possible) les éléments de différentes natures présents dans la structure finale d'un produit. La tendance est que les solutions issues

de cette approche de modélisation soient meilleures. Dans ce sens, Warrell [139] propose un type de modélisation qui englobe les fonctions techniques et les fonctions interactives du produit. L'objectif de cette approche est de fusionner les questions esthétiques, et celles de manipulation et de contrôle du produit (fonctions interactives) avec les aspects techniques de la conception dès le tout début de la conception, et ainsi de trouver des solutions mieux intégrées. Dans la Figure 26 nous voyons ces deux grandes perspectives de modélisation fonctionnelle. En outre, l'utilisation de la proposition de Warrel nous permettra de considérer les trois types d'adaptation de produits offerts par la CM.

Les fonctions techniques (internes au produit) sont les fonctions normalement associées aux systèmes techniques dans la littérature de l'ingénierie de conception, et elles sont divisées en fonctions opératives et structurelles. Les premières sont associées au but principal du produit en cours de conception, et les secondes sont nécessaires pour assurer la stabilité structurelle et la solidité du produit et de ses composantes. Les fonctions opératives peuvent être divisées en fonctions de transformation et en fonctions additionnelles. Les premières sont réalisées par un produit et clairement liées à la fonction principale. Les fonctions additionnelles supportent la transformation, par exemple la régulation et le contrôle des paramètres d'un produit, les fonctions associés à la fourniture d'énergie ou d'autres fonctions considérées comme secondaires [139].

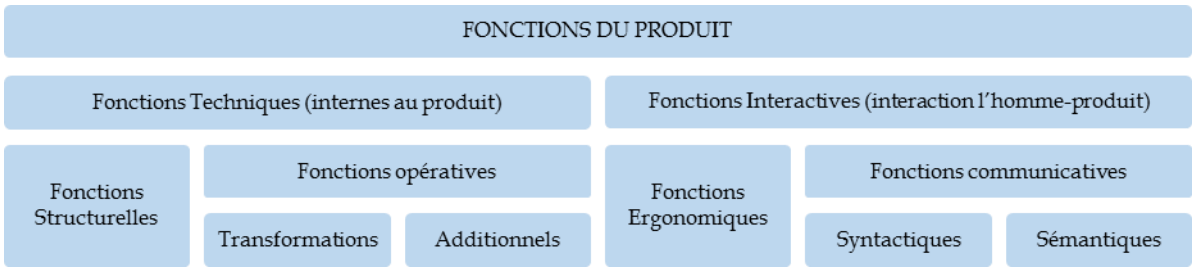


Figure 26 – Classes de fonctions d'un produit [139]

A leur tour, les fonctions interactives considèrent l'importance de bien définir l'interaction entre la personne et le produit utilisé de façon à améliorer son usage et son attractivité. Cela est particulièrement vrai dans le cas de PA pour les PSH, soit en termes ergonomiques, soit en termes communicatifs. Les fonctions ergonomiques concernent les interactions avec les facteurs physiques et cognitifs de l'être humain. En effet, l'ergonomie physique prend en compte l'adaptation du produit aux exigences physiologiques et anthropométriques de la personne. Les fonctions cognitives comprennent les facteurs associés à la capacité mentale, comme le traitement de l'information, la logique, les modèles de raisonnement et la perception sensorielle. Ces facteurs sont considérés pour l'amélioration de l'expérience d'usage [139].

Les fonctions communicatives font référence aux informations communiquées par le produit aux personnes, spécialement en considérant les aspects esthétiques du produit. Dans ce sens, la communication peut être sémantique ou syntactique. D'abord, les fonctions sémantiques ont quatre buts principaux : décrire le produit (but et mode d'emploi), exprimer les propriétés du produit, exhorter à un

type de réaction et à comment manipuler le produit et identifier le produit (son origine, son fabricant, sa localisation, sa nature ou sa catégorie). Finalement, les fonctions syntactiques sont liées directement à la structure et l'organisation de la forme visuelle, y compris les aspects esthétiques du produit [139].

Suite à la structuration de la valeur de l'utilisateur dans une structure fonctionnelle assez large, comme celle qui vient d'être présentée, le processus évolue vers des activités de conception chargées de la concrétisation du produit. Xia et Wang [140] affirment que traduire la voix des consommateurs dans les spécifications du produit est un processus difficile et que la plupart des approches qui servent à ce but assument que la conception commence toujours par une feuille blanche. En réalité, la majorité des projets de produits partent de produits déjà existants.

Ainsi, connaitre la structure des produits présents sur le marché avec des fonctions sous-jacentes peut être une approche utile pour raccourcir le processus de conception. Afin de permettre l'analyse de produits existants, Pimmler et Eppinger [141] ont développé une méthode en trois étapes pour l'analyse d'intégration à partir de la décomposition de produits, à savoir :

- Décomposer le système en éléments – il s'agit de décrire le produit en termes de fonctionnalités ou d'éléments physiques qui réalisent telle ou telle fonction. Les deux attributs sont importants dans la décomposition mais dans les projets plus incrémentaux l'analyse se tourne vers les éléments physiques et dans les projets plus innovants vers la structure fonctionnelle.
- Documenter les interactions entre les éléments – il s'agit de vérifier les interactions présentes dans la structure décomposée et noter chaque interaction par rapport à sa force relative. Les interactions peuvent être du type physique, d'échange d'énergie, d'échange d'information et d'échange de matériaux. A son tour, l'intensité possède cinq niveaux et peut être négative ou positive : requise (+2), souhaitée (+1), indifférent (0), indésirable (-1) et préjudiciable (-2).
- Regrouper les éléments en morceaux ou blocs – il s'agit de regrouper les éléments selon des critères pointés par la stratégie de la conception des produits. Cette organisation va impacter l'architecture du produit et peut aussi aider dans l'organisation de l'équipe de conception.

Cette décomposition permet d'envisager des architectures alternatives utilisant les technologies existantes et aussi d'organiser les sous équipes de conception par rapport à cette division technologique. Les étapes de décomposition sont illustrées dans la Figure 27.

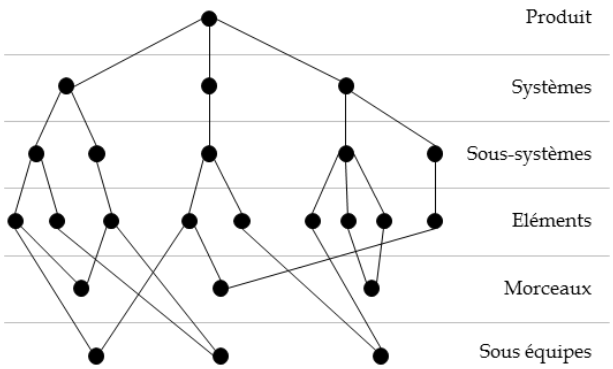


Figure 27 – Analyse d'intégration à partir de la décomposition de produits [141]

Il est important d'observer que la CM a quelques conséquences dans l'architecture du produit, c'est-à-dire dans « le schéma à partir duquel les fonctions d'un produit sont attribuées aux composants physiques ». De façon plus précise, l'architecture du produit est définie à partir de trois éléments qui le composent : (i) la disposition des éléments fonctionnels; (ii) la mise en correspondance des éléments fonctionnels avec les composants matériels; (iii) la spécification des interfaces entre l'interaction des composants physiques [142]. En effet, les principales stratégies de conception de produits pour la CM sont : la différenciation retardée et l'utilisation de la conception modulaire [143].

La première stratégie concerne le point de pénétration où se produit la différenciation (traitée dans la section 2.2.2.1.). Cela représente l'étape où les clients peuvent interférer sur la conception et sur la fabrication de produits sur mesure. Il existe deux types d'approches pour retarder la différenciation : en retardant la livraison des produits complets ou en faisant la différenciation en aval de la chaîne d'approvisionnement (chez les commerçants, par exemple) [115].

Le second aspect, la modularité, concerne l'équilibre entre la standardisation et la variété des composants, en concevant des familles ou des plateformes de produits [115]. La famille de produits est considérée comme « un ensemble de produits finis offerts par une entreprise qui sont au moins partiellement substituables à la demande, qui possèdent des similitudes fonctionnelles sous-jacentes, et qui partagent la même technologie et le même processus de fabrication » [138]. Pour arriver à bien concevoir ces ensembles, il est fondamental d'utiliser une conception modulaire car il est tellement difficile de concevoir un produit entier d'un coup (trop compliqué) [141].

De la même façon, la conception modulaire « consiste à réaliser des éléments du produit avec des surcapacités fonctionnelles (capables de satisfaire un ensemble de besoins) tout en étant interchangeables : les modules ». La modularité d'un produit présente plusieurs avantages pour l'entreprise, tels que la maximisation du nombre de composants standardisés, la fabrication séparée des modules (qui permet la réduction du temps total de fabrication) et la possibilité d'identifier et solutionner un problème (de qualité par exemple) à partir de son isolement par module [144].

Le terme architecture de famille de produits fait référence à la façon dont les caractéristiques requises par le client sont attribuées aux composants du produit et la façon dont les composants du produit

peuvent être organisés et combinés pour obtenir les différentes configurations requises. En outre, l'attention portée à la variété des produits et aux exigences de volume de production lors de la conception permet à une entreprise de maintenir un certain degré de partage de composants au sein d'une famille, ainsi que pour différentes familles [138].

Salvador et al. [145] font état dans la littérature de quelques variables importantes pour la modularité d'une famille de produits. Dans ce cadre, trois aspects sont mis en relief, à savoir : (a) la stabilité de la fonction attribuée au composant, proposée par Pahl et Beitz [146] (b) la manière de construire la configuration finale du produit, d'Ulrich et Tung [147] (c) et la nature des interfaces entre les composants, développée par Ulrich [142]. Dans le Tableau 28 nous pouvons observer les types de modules ou de modularités présentes dans chacune de ces classifications (a), (b) et (c).

A ces critères, nous pouvons en ajouter un autre lié au découpage modulaire qui peut être mis en œuvre. Deux stratégies sont mises en évidence : le découpage structurel qui s'appuie sur la structure physique du produit en regardant comment il est possible de réaliser des modules ; et le découpage fonctionnel qui recherche parmi les fonctions, celles qui peuvent être préassemblées dans un module [143]. La modularité signifie aussi la maximisation du nombre d'options disponibles pour l'utilisateur pour une réponse adéquate à ses besoins. Nous pourrions même voir la modularité du produit comme une option qui nous permet d'envisager chaque produit comme unique, mais avec des conséquences sur le volume de fabrication.

Ainsi, pour une implantation plus effective de la CM, quelques auteurs ont proposé la modularité combinatoire [138], [145]. La modularité combinatoire fait référence aux architectures du produit où :

- Tous les composants constituant une variante de produit appartiennent à des familles de composants, ce qui signifie que chaque composant lui-même est une variante ;
- Chaque famille de composants se connecte avec une partie des autres familles de composants, et les interfaces sont connectées par des familles jumelées ;
- L'interface entre deux familles de composants dépend du type de raccord de la famille considérée, mais elle est indépendante des variations de composants spécifiques issues de ces deux familles qu'il s'agit de combiner.

Critère de classification de la modularité	Types de modules ou de modularités
La stabilité de la fonction attribuée au composant [146]	Module de base et auxiliaire – il implémente les fonctions qui sont communes dans toute la famille de produits
	Module spécial – il implémente les fonctions complémentaires et spécifiques aux tâches qui ne nécessitent pas d'apparaître dans toutes les variantes de produits
	Module adaptatif – il implémente les fonctions liées à l'adaptation à d'autres systèmes et à des conditions marginales
La manière de construire la configuration finale du	Modularité pour permutation de composant - les variantes du produit sont obtenues en échangeant un ou plusieurs composants présents dans le corps de base du produit

produit [147]	Modularité de fabrication pour s'adapter – les variantes du produit sont obtenues en modifiant une caractéristique variable en continu au sein d'un composant donné
	Modularité du type bus – les variantes de produits sont obtenues en faisant correspondre toute sélection de composants à partir d'une liste avec un composant bus qui a deux ou plusieurs interfaces
	Modularité en coupe – les variantes du produit sont obtenues en mélangeant et en assortissant de manière arbitraire un ensemble de composants qui sont connectés à partir de leur interface
la nature des interfaces entre les composants [142]	Modularité par connecteurs – les interfaces entre les différents composants sont différentes
	Modularité en coupe – tous les composants sont connectés avec des interfaces identiques
	Modularité du type bus – il s'agir d'un cas spécial de la modularité en coupe où un composant (le bus) réalise le rôle de connexion

Tableau 28 – Types de modularité par critère. Adaptée de [145]

Ainsi, à travers la « modularité combinatoire, des variantes de produits peuvent donc être obtenues en combinant des composants de différentes familles, à condition que les interfaces et les autres contraintes de compatibilité soient satisfaites ». Salvador et al. [145] affirment que les deux premiers critères de la définition de la modularité combinatoire sont issus de la modularité par connecteurs. Ensuite, les auteurs précisent que les combinaisons proposées doivent être plutôt vues comme un éventail de possibilités en partant de la modularité par permutation de composants jusqu'au cas idéal de la modularité combinatoire. Ainsi, la permutation de composants serait plutôt la permutation de familles de composants et le produit n'aurait plus de corps de base. Cette gamme de possibilités est présentée dans la Figure 28.

La partie gauche de la Figure 28 montre le cas de la modularité faite à partir de permutations de composants : dans ce cas nous apercevons que le produit a un corps de base et une famille de composants qui pourra être permutable.

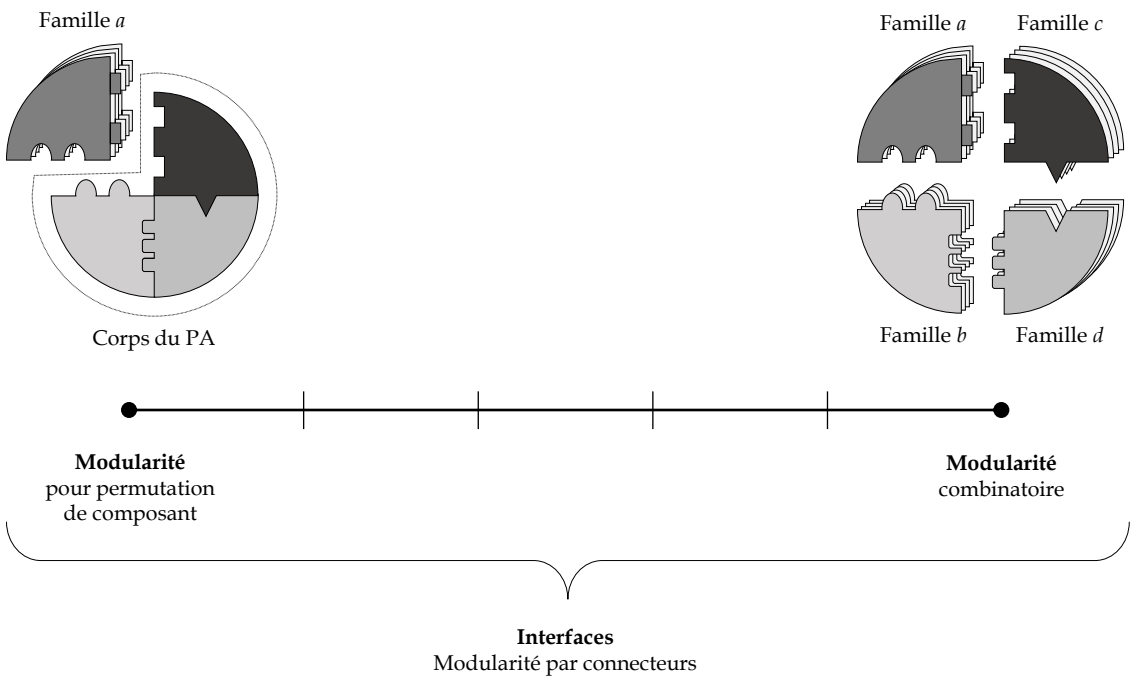


Figure 28 – Modularité par changement de composants vs. la modularité combinatoire [145]

A l'autre extrême du spectre, nous trouvons la modularité combinatoire : dans cette proposition toute l'architecture du produit est permutable, avec les familles de composants pour toutes les fonctions et sans avoir un corps de base pour le produit [145]. Ainsi, en prenant compte ces aspects, Salvador et al. [138] établissent la possibilité d'une CM dite douce et aussi celle dite de nature un peu plus dure :

- Dans le premier cas, les décisions quant aux éléments à standardiser et ceux à modifier au sein d'une famille de produits sont interdépendants. Il est nécessaire de connaître la capacité des fournisseurs pour répondre à cette exigence, y compris leurs localisations pour répondre aux commandes dans un temps de livraison acceptable.
- En revanche, dans le cas d'une customisation plus radicale (ou dure), l'hétérogénéité du marché du consommateur sera mieux prise en considération. Dans ce cas, pour réduire les problèmes dus à l'augmentation de la variété, les entreprises peuvent travailler avec les modules « plus grands » ou plus complets en termes de fonctionnalités [138].

Les fonctionnalités plus complètes représentent un aspect important et en même temps limitant des modules, car pour l'augmentation de la flexibilité d'un module (le nombre de ses cas d'emplois), des surcapacités fonctionnelles sont nécessaires. De telles fonctionnalités supplémentaires peuvent constituer un potentiel significatif d'économies dans la fabrication, mais aussi un gaspillage de fonctionnalités [143].

Salvador et al [138] proposent une « feuille de route » pour guider les décisions sur la modularité du produit en termes d'utilisation d'une CM douce ou dure et pour estimer les impacts dans l'efficacité opérationnelle (Figure 29). Le premier aspect à considérer est l'exigence de la variété de produits et de volume de fabrication au sein de la famille de produits, qui mène à un choix du type de customisation.

Ensuite, quand l'option est une CM douce, l'architecture du produit est dirigée vers la modularité par permutation de composants et une relation avec les fournisseurs de proximité physique et unilatérale. D'un autre côté, quand le choix est d'une CM dure, l'architecture indiquée est faite à travers la modularité combinatoire et la relation avec les fournisseurs est plutôt de collaboration et partenariale.

Finalement, dans le cadre de la CM, cette section a traité des aspects liés à la proposition de customisation (niveaux et types de personnalisation d'un produit), du processus d'élicitation des utilisateurs, de la valeur perçue par le client et des impacts de la CM sur l'architecture du produit. De manière plus large, cette section a abordé les approches pour la conception et la fabrication d'une variété de produits, notamment l'approche *lean* et la CM. De ces courants théoriques, nous avons sélectionné les aspects qui ont le plus grand potentiel pour contribuer à la conception des PA pour les PSH.

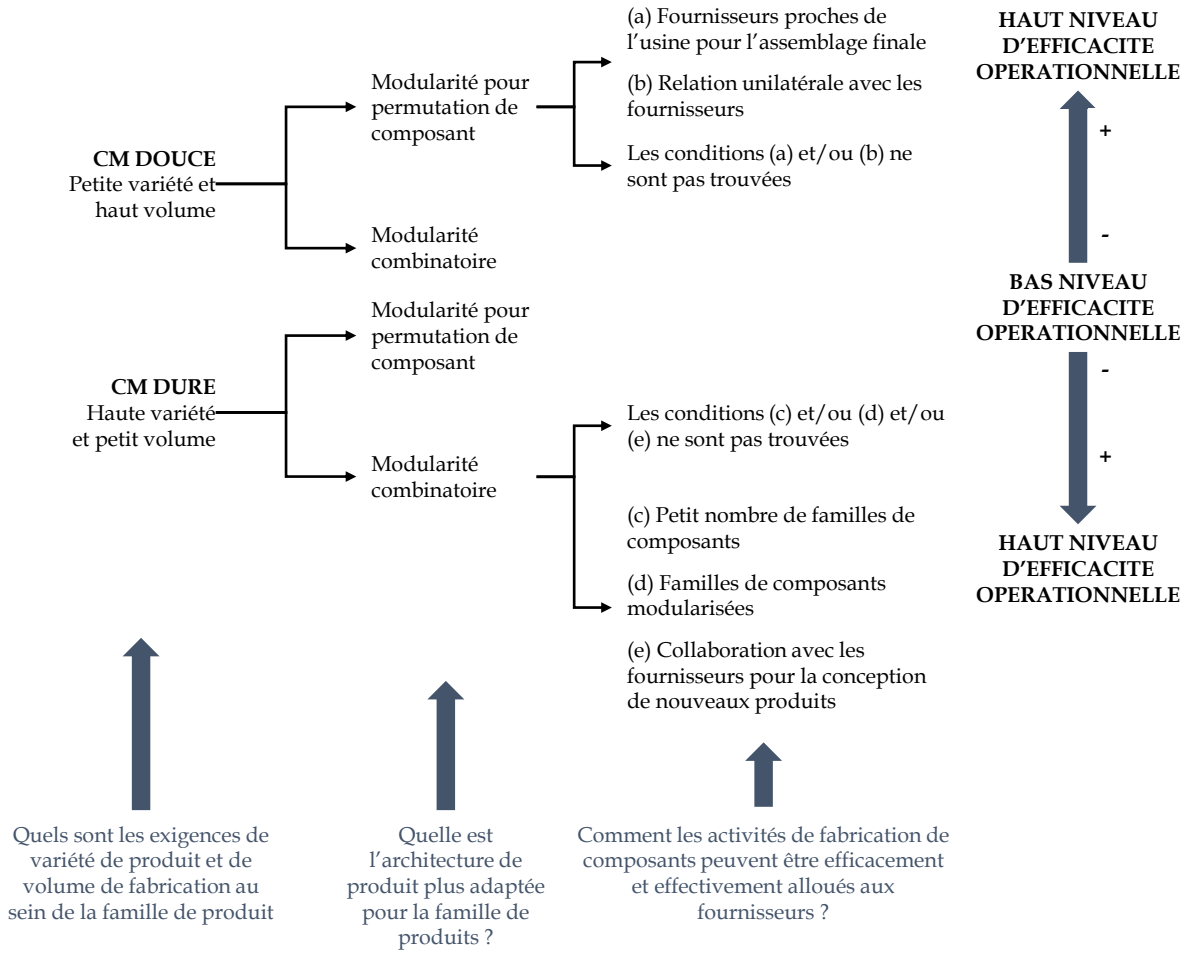


Figure 29 – Carte routière pour la customisation de masse [138]

La section qui suit est la dernière de ce chapitre d'état de l'art et a pour but d'analyser les approches et modèles de conception utilisés directement dans la conception de produits dont les consommateurs sont des PSH, soit à travers la conception élargie à tous, soit par la conception directe dans le cadre du handicap personnel.

2.3 LA CONCEPTION DE PRODUITS ET LES PSH

Les produis à destination des PSH ne sont pas exclusivement étiquetés « PA » pour prévenir les déficiences, les limitations d'activités ou encore pour limiter les restrictions de participation en société. En fait, nous pouvons considérer les produits ordinaires comme l'électroménager, les équipements informatiques, les moyens de transport, les objets d'utilisation personnelle, etc. comme en faisant partie. L'inclusion des PSH comme des utilisateurs possibles de ce type de produit est faite normalement à travers les produits inclusifs ou conçus « pour tous ».

Ainsi, il nous semble important de faire la distinction entre quelques catégories de produits selon le public ciblé, même si ces catégories ne présentent pas de frontières bien définies. D'abord, nous avons les produits dits de grand public, trouvés habituellement dans les grands magasins et conçus sans prendre en considération les besoins directs des PSH. Généralement, les concepteurs conçoivent instinctivement les produits pour les personnes dites « valides », car soit ils ne sont pas au courant des besoins des personnes présentant des capacités différentes, soit ils ne savent pas comment les prendre en considération [148], [149].

Ensuite, nous pouvons observer des produits dont la conception considère les besoins des PSH, elles peuvent être handicapées ou dans une catégorie « personnes âgées ». En premier lieu, nous séparons les produits dits « pour tous » ou universels des PA. Ces derniers ont été déjà définis tout au long de ce travail. Ils peuvent être divisés en deux types : ceux qui sont créés pour rendre accessible les produits dits grand public et ceux qui sont nécessaires pour surmonter les obstacles d'accessibilité des infrastructures et des environnements. Il reste que dans le cadre du traitement des PSH, nous trouverons aussi les produits de réhabilitation, destinés au rétablissement fonctionnel et de la santé ; et les produits médicaux, destinés à supporter une gamme de pratiques de soins de santé et la guérison des maladies [148].

Cette distinction une fois faite, il est important de rappeler que l'objectif de cette thèse est relié à la conception de PA directement destinés aux PSH. Ainsi, cette section du chapitre de l'état de l'art se concentre sur la relation entre conception de produits et les PSH. Elle est divisée en deux parties : la première se concentre sur la considération des déficiences par les approches de conception de produits et la seconde se focalise sur l'analyse de quelques modèles particuliers pour la conception de PA.

2.3.1 Considération des PSH lors de la conception de produits

Dans la littérature scientifique, nous trouvons deux grandes catégories d'approches théoriques utilisées dans la conception de produits qui considèrent les PSH parmi les utilisateurs. Ce sont identifiées comme les approches universelles et les approches spécialisées. Dans la perspective universaliste, les concepteurs essaient de rendre le produit utilisable et esthétiquement agréable pour presque tout le monde, quels que soit l'âge, la capacité ou d'autres particularités des utilisateurs potentiels [150]. Le résultat est l'obtention de produits standard qui pourraient être fabriqués en masse avec des coûts bas.

Du point de vue des entreprises, c'est l'un des grands avantages de ces approches. De son côté, dans la perspective spécialisée, les produits sont conçus pour les besoins spécifiques d'une personne ou d'un petit groupe de personnes. Dans cette situation, les produits sont fabriqués à petite échelle. C'est pourquoi quelques dispositifs sont inabordables sans aide financière comme par exemple l'aide gouvernementale ou d'organismes de bienfaisance [6], [151].

La question qui s'impose dans la réflexion entre les approches universelles et celles dits spécialisées réside sur l'existence d'une vraie dichotomie entre ces deux catégories d'approches. Il semble exister de multiples aspects à considérer entre concevoir un produit pour tous ou pour les PSH. Ainsi, de façon à bien répondre aux besoins des utilisateurs avec des prix abordables, les concepteurs doivent-ils concevoir les produis pour le grand public et faire des produits plus inclusifs, ou concevoir des PA et rendre ces produits plus amicaux au grand public ?

2.3.1.1 Approches universelles et les approches spécialisées : une dichotomie

D'abord, il est important de comprendre que dans la conception universelle le produit est conçu pour un large groupe de personnes avec un focus sur les contraintes de fabrication. En revanche, concernant les approches spécialisées, les produits sont conçus pour chaque besoin spécifique avec un impact négatif sur la performance des systèmes de fabrication en raison de la variété de produits introduits [151].

Les approches universelles émergent du mouvement « *barrier-free* » (libre de barrières) aux États-Unis, qui visait à éliminer les obstacles physiques environnementaux qui gênent les déplacements de personnes à mobilité réduite. Progressivement, quelques idées ont été transposées à d'autres contextes de la conception, en créant le mouvement de l'« *universal design* » (conception universelle). En parallèle, le monde des affaires s'est aperçu de la viabilité des personnes âgées et des PSH comme des groupes importants de consommateurs. De plus, la mondialisation des marchés fait que les entreprises cherchent à fournir des produits qui soient adaptables à différentes cultures [150].

La conception universelle est définie comme « une stratégie qui vise à concevoir et à composer différents produits et environnements qui soient, autant que faire se peut et de la manière la plus indépendante et naturelle possible, accessibles, compréhensibles et utilisables par tous, sans devoir recourir à des solutions nécessitant une adaptation ou une conception spéciale » [152]. Cette définition nous montre bien que tout le monde est concerné, mais il est certain que les bénéficiaires principaux sont les patients présentant des limitations permanentes. En outre, elle montre aussi un intérêt de se focaliser sur les phases de conception et non pas sur l'adaptation postérieure par l'homme, d'un produit ou de l'environnement.

Keates et Clarkson [149] reconnaissent que les approches de conception universelle sont fondamentalement dérivées de la théorie de la conception centrée sur l'utilisateur. Cette théorie consiste en « une approche de conception et de développement de systèmes ayant pour objectif d'améliorer

l'utilisabilité des systèmes interactifs en se concentrant sur l'utilisation du système concerné, et en appliquant les connaissances et techniques existantes en matière de facteurs humain d'ergonomie et d'utilisabilité [153]. A titre d'information, la Figure 30 présente les activités de conception centrée sur l'utilisateur.

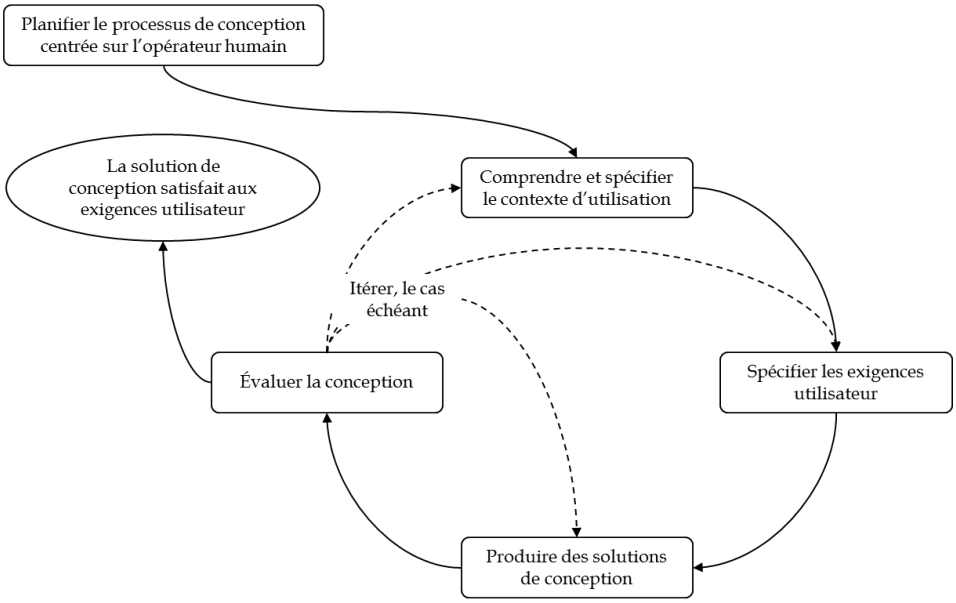


Figure 30 – Interdépendance des activités de conception centrée sur l'opérateur humain [153]

La Figure 30 montre qu'un tel processus est divisé en quatre activités globales (comprendre et spécifier le contexte d'utilisation, spécifier les exigences utilisateur, produire des solutions de conception et évaluer la conception), comprenant des étapes d'interaction en cas d'échec. En général, pour produire des solutions, les approches universelles établissent certains principes qui doivent être respectés, comme par exemple la liste présentée dans le Tableau 29.

Les différentes approches universelles sont assez similaires et les quelques différences existantes sont plutôt trouvées dans leurs origines. Ainsi, dans l'Europe prédomine le terme « *Design for all* », tandis que la dénomination « *Universal Design* » est plus utilisée aux États-Unis et au Japon. De son côté, le Royaume-Uni utilise plus couramment le label « *Inclusive Design* ». Malgré des termes différents, ces approches sont identiques avec des faibles variations ponctuelles.

En revanche, d'autres approches universalistes ont leurs particularités, comme les « Transgenerational design ». En effet, nous pouvons dire que la Conception Universelle est motivée par l'identification de l'exclusion des PSH qui regroupe des déficiences physiques ou mentales. En revanche, la Conception Transgénérationnelle est liée aux difficultés d'utilisation de produits issus du processus continu de vieillissement de la population. Ainsi, la prise en compte de l'augmentation de la population âgée est traitée par une approche universaliste. En effet, le processus de vieillissement est une réalité que touche tout le monde.

Pirkl [154] explique que cette population possède quelques caractéristiques comme une majorité de femmes, quelques pertes d'autonomie liées aux pertes progressives de la vision, de l'audition et des mouvements. Woudhuysen [155] précise que dans ce type de conception, il est important de conserver quelques caractéristiques des produits déjà connus du grand public, de manière à faciliter son acceptation et sa compréhension du mode d'utilisation.

Principe	Définition	Lignes directrices
Utilisation égalitaire	La conception est utile et commercialisable auprès de personnes ayant différentes capacités	Fournir à tous les utilisateurs les mêmes moyens d'utilisation : identiques dans la mesure du possible et équivalents autrement Éviter de mettre à part ou de dévaloriser les utilisateurs Mettre également à la disposition de tous les utilisateurs des dispositions relatives à la protection des renseignements personnels et à la sécurité Rendre la conception attrayante pour tous les utilisateurs
Flexibilité d'utilisation	La conception peut être valable pour une vaste gamme de préférences et de capacités individuelles	Donner un choix de méthodes Prévoir l'accès et l'utilisation pour droitiers et gauchers Faciliter l'exactitude et la précision pour l'utilisateur Fournir une capacité d'adaptation au rythme de l'utilisateur
Utilisation simple et intuitive	L'utilisation de la conception est facile à comprendre, indépendamment de l'expérience, des connaissances, des compétences linguistiques de l'utilisateur ou de son niveau de concentration au moment de l'utilisation	Éliminer la complexité inutile Être à la hauteur des attentes et de l'intuition de l'utilisateur Tenir compte d'un vaste éventail de capacités de lecture et d'écriture et de capacités linguistiques Disposer l'information en ordre d'importance Fournir des messages guides et des commentaires pendant et après la tâche
Information perceptible	La conception communique efficacement à l'utilisateur l'information nécessaire, quelles que soient les conditions ambiantes ou les capacités sensorielles de la personne	Utiliser différents modes (illustré, verbal, tactile) pour la présentation redondante de l'information essentielle Fournir un contraste satisfaisant entre l'information essentielle et ce qui l'entoure Maximiser la lisibilité de l'information essentielle Faire en sorte que les distinctions entre les éléments soient descriptibles (c'est-à-dire, simplifier la présentation d'instructions ou de directives) Assurer la compatibilité avec une variété de techniques ou d'appareils dont se servent les personnes ayant des limitations sensorielles
Tolérance pour l'erreur	La conception réduit au minimum les dangers et les conséquences adverses des accidents ou des actions involontaires	Disposer les éléments de manière à minimiser les dangers et les erreurs : les éléments les plus utilisés sont les plus accessibles; les éléments les plus dangereux sont éliminés, isolés ou bloqués Fournir des avertissements relatifs aux dangers et aux erreurs Fournir les caractéristiques de tolérance de pannes Dissuader les gestes inconscients dans des tâches exigeant de la vigilance
Effort physique minimal	La conception permet une utilisation efficace et confortable, générant une fatigue minimale	Permettre aux utilisateurs d'adopter une position du corps neutre Utiliser des forces raisonnables d'exploitation Minimiser les mouvements répétitifs Minimiser l'effort physique soutenu
Dimensions et espace libre pour l'approche et l'utilisation	La conception prévoit une taille et un espace adéquats au moment de s'approcher, de saisir, de manipuler et d'utiliser, quelles que soient la taille, la posture ou la mobilité de l'utilisateur	Offrir une portée optique sans obstacle pour les éléments importants pour les utilisateurs, qu'ils soient assis ou debout Faire en sorte que les utilisateurs, qu'ils soient assis ou debout, puissent joindre en tout confort toutes les composantes Fournir différentes tailles de prises et de poignées Fournir un espace suffisant pour utiliser les aides techniques ou les aides personnelles

Tableau 29 – Principes et lignes directrices de la conception universelle [156], [157]

Enfin, les deux auteurs cités définissent la Conception Transgénérationnelle comme la conception de produits pour les personnes âgées et qui répondent en même temps aux besoins des personnes plus jeunes [154], [155], [158]. Pirkl [154] et Woudhuysen [155] sont convaincus que cette approche est la meilleure manière de concevoir des produits pour tous, y compris pour les jeunes. Un exemple qui

soutient la vision des auteurs est l'extincteur d'incendie : un tel appareil qui peut être utilisé par une personne âgée pourra être utilisé pour tous.

Selon Winance [159] le mérite des approches universelles est de « permettre à un plus grand nombre de personnes d'utiliser des produits, des espaces, des service ». En revanche, l'auteur apporte quelques critiques à cette philosophie de conception, notamment à ses principes. Elle signale que de façon paradoxale « la prise en compte de la diversité des spécificités conduit à l'effacement de toute diversité » et comme conséquence nous vérifions une standardisation des modes d'action, la suppression des (in)capacités, des expériences et des qualités des personnes. L'argument de l'auteur est que la simplification due à l'application des principes de la Conception Universelle réduit le potentiel créateur du concepteur. Ainsi, au lieu d'essayer de réduire la diversité pour donner naissance à un produit universel, il doit s'appuyer sur cette diversité pour « concevoir un environnement pluriel doté de ressources et de qualités variées » [159].

Dans ce sens, Heylighen et Nijs [160], [161] démontrent que dans l'architecture, la prise en compte de la perspective des personnes handicapées invite les architectes à reconsidérer la manière de comprendre l'espace. Ils ajoutent que même si la cécité semblait être en contradiction avec les modes visuels de réflexion architecturale, certaines sensibilités spécifiques aux personnes aveugles leur donnent des capacités de concepteurs. Une telle particularité est aussi vraie pour d'autres types de déficiences. Roy [162], designer et sourde, supporte la même vision en disant que « les expériences uniques que vivent les PSH nous aident à créer et à concevoir un monde meilleur pour tous : pour les personnes atteintes ou non de handicap ». Elle poursuit en disant que en concevant directement pour les PSH peut nous permettre de tomber sur des meilleures solutions que celles produites quand nous concevons pour la norme. Ces points de vue sont très liés aux approches spécialisées dont la préoccupation est de concevoir les produits directement pour les PSH.

L'initiative la plus simple et intuitive dans cette branche est la Conceptions Adaptative (*Adaptable Design*). Elle est caractérisée par la proposition de modifications à intégrer dans les produits standards destinés au grand public. Le but de ces propositions est de rendre de tels produits accessibles aux PSH en accommodant ses besoins. Un exemple de l'application de cette approche est la conversion véhiculaire pour les adapter à la conduite par une PSH [10], [163]. Nous remarquons que pour que cette approche soit possible, l'existence d'un produit initial conçu sans considérer les PSH est nécessaire.

Ensuite nous vérifions l'existence de deux termes liés à la conception de produits pour la réhabilitation de PSH : la Conception pour la Réhabilitation et l'Ingénierie de Réhabilitation. Tout d'abord, il semble important de définir le terme de réhabilitation. Il s'agit du processus de réintégration d'un individu avec handicap dans la société, à partir du renforcement des capacités existantes ou en fournissant des moyens alternatifs pour réaliser diverses fonctions [164]. En outre, la réhabilitation peut aussi faire référence à la restauration à la vie normale à travers la formation et/ou la thérapie d'une personne malade, handicapée ou qui était incarcérée. Ainsi, une technologie de réhabilitation peut être

considérée comme une technologie, des dispositifs, des procédés, des systèmes ou des services requis pour soutenir ce processus [165].

La Conception pour la Réhabilitation (*Rehabilitation Design*) consiste en la conception de produits pour permettre la participation sociale d'une personne porteuse d'un handicap permanent ou temporaire lourd [158], [166]. L'Ingénierie de Réhabilitation (*Rehabilitation Engineering*) est assez proche de la Conception pour la réhabilitation. Il s'agit de l'application de la science et de la technologie pour diminuer les handicaps des individus handicapés [167].

La raison qui déclenche le besoin de ces approches plutôt spécialisées est que malgré l'utilisation d'une conception qui vise à inclure un maximum de personnes, il existera toujours un petit nombre de personnes exclues et qui auront besoin de solutions uniques et d'équipements spécialisés [158]. Ainsi, pour contourner ces limitations, les praticiens concevaient de nombreuses adaptations progressives de produits pour soulager un handicap à partir d'une approche d'essai et erreur [151], [168], [169]. En effet, l'Ingénierie de Réhabilitation est une approche ayant par mode d'action la quantification, la mesure et le suivi de la performance humaine dans l'objectif de fournir des adaptations mieux ajustées [168].

En sachant que l'Ingénierie de Réhabilitation est de nature multidisciplinaire, il est difficile d'exprimer des principes de conception qui lui sont applicables. L'approche est plus centrée sur une systématique qui englobe les étapes d'analyse, de synthèse, d'évaluation, de description et d'implémentation, comme montré dans le Tableau 30 [170].

La gamme de produits offerts par l'Ingénierie de Réhabilitation ou par la Conception pour la Réhabilitation est très large. Elle peut aller du très simple au très complexe en termes technologiques. Du plus, il est nécessaire de faire la distinction entre les buts des technologies de réhabilitation. Les technologies de réhabilitation comprennent aussi les dispositifs d'utilisation primaire dans un contexte clinique, tels que les barres parallèles, élingues en tête, et les tables d'inclinaison, etc. Ces équipements sont principalement utilisés à des fins de thérapie [171].

Nous pouvons aussi trouver l'utilisation de technologies émergentes de communication, de l'informatique et de la robotique permettant la réalisation d'interfaces personnalisables et intelligentes pour l'utilisation personnelle [158]. Ces solutions peuvent être considérées comme de la Technologie d'Assistance [168]. Finalement, il est important de remarquer que les technologies de réhabilitation sont utilisées pour agir sur la personne de manière à surmonter ses « limitations », plutôt que d'envisager des modifications environnementales sur les barrières que les personnes peuvent avoir [165].

En effet, la Conception pour la Réhabilitation n'est pas très loin de l'approche de Technologie d'Assistance (*Assistive technology*), où les produits sont conçus pour répondre à des conditions médicales particulières dont les «utilisateurs» sont en général pensés comme des «patients». Les «clients» sont géné-

ralement les autorités de santé responsables pour la prescription et l'acquisition d'un tel équipement. Ainsi, dans une analyse plus poussées, nous pouvons affirmer que la Conception pour la Réhabilitation est un cas particulier de la Technologie d'assistance pour les cas les plus graves [158], [166]. Généralement, le résultat de ce processus de conception est un PA.

Etapes	Actions principales
Analyse	La première et importante étape est de faire une analyse soigneuse de la situation (problèmes et besoins). Ainsi, il est nécessaire de faire un panorama de la situation, en identifiant les aspects environnementaux, psychosociaux qui interfèrent avec la situation de handicap. Le résultat de cette enquête peut être une liste de caractéristiques opérationnelles ou de spécifications de performance que la « solution idéale » devrait posséder
Synthèse	Une étape de synthèse des leçons apprises est recommandée pour la meilleure compréhension du problème à la lumière des connaissances d'ingénierie de conception et du design. Cette étape peut se réaliser sous une forme écrite, mais aussi au moyen de croquis et de descriptions techniques de chaque solution qui commence à surgir. Cette étape peut se produire de manière parallèle à l'étape d'analyse ou après celle-ci
Evaluation	Dû à complexité des problèmes et aussi aux limitations budgétaires et de temps, deux ou trois idées prometteuses doivent être sélectionnées pour un développement plus abouti. Au plus tôt possible, les utilisateurs finaux et tous les autres participants impliqués dans le projet doivent être consultés à propos de la conception du bien. Dans ce sens, l'usage de prototypes et de tests est fortement recommandé pour l'évaluation des idées en cours d'élaboration
Description	Cette étape consiste à choisir la solution finale parmi une liste réduite de possibilités. Elle sera le résultat de compromis entre les plusieurs intérêts
Implémentation	La dernière étape consiste à prévoir les méthodes et les ressources pour la fabrication, l'ajustement et l'installation de la solution finale. Cette étape est très dépendante des technologies impliquées et de la taille du projet

Tableau 30 – Principes de l'Ingénierie de Réhabilitation [170]

Concernant les PA, Szeto [170] liste quelques idées fausses qui doivent être considérées pour n'est pas fournir trop d'espoir ou échouer lors de la mise en service d'un dispositif. Tout d'abord, il est nécessaire de clarifier que les produits ne peuvent pas solutionner tous les problèmes. Ensuite, il important de comprendre que deux personnes ayant le même problème ne sont pas obligatoirement ciblées avec la même solution. L'auteur explique aussi que les PA ne sont pas nécessairement complexes et chers. Finalement, il indique que les prescriptions sont des processus imprécis et que des abandons peuvent survenir quand les besoins des PSH ne sont pas correctement pris en compte. Ainsi, de manière à contourner ces limitations, Szeto [170] propose l'application des principes listés ci-dessous :

- Les objectifs, les besoins et les tâches de l'utilisateur doivent être clairement définis, répertoriés et intégrés le plus tôt possible dans le processus d'intervention ;
- La participation des professionnels de la réadaptation avec différentes compétences et de savoir-faire permettra de maximiser la probabilité d'un résultat positif ;
- Les préférences de l'utilisateur, les capacités cognitives et physiques et les limites, la situation de vie, la tolérance à la technologie et les changements probables dans l'avenir doivent être soigneusement évalués, analysés et quantifiés ;

- Un examen attentif et approfondi de la technologie disponible pour répondre aux besoins de l'utilisateur doit être effectué pour éviter de négliger des solutions potentiellement utiles ;
- Les préférences et les choix de l'utilisateur doivent être pris en compte dans la sélection du dispositif de la technologie d'assistance ;
- Le dispositif de la technologie d'assistance doit être personnalisé et installé dans l'emplacement et ajusté à la manière dont où il sera principalement utilisé ;
- Ce n'est pas uniquement l'utilisateur qui doit être formé de l'usage de l'appareil, mais aussi les membres de la famille et les soigneurs qui doivent être informés de ses avantages et limitations ;
- Le suivi, le réajustement et les réévaluations des produits et des besoins de l'utilisateur à des intervalles périodiques, sont nécessaires.

Bien que les PA soient majoritairement extérieurs au corps de l'individu, ces dispositifs sont plus attachés à la personne qu'à l'environnement (comme un ascenseur adapté). Une modification environnementale est réalisée selon les besoins des utilisateurs dans les espaces, mais les produits personnels ont d'autres particularités. Ils doivent tout d'abord « accompagner » la personne (il est porté par l'utilisateur) et ils doivent s'adapter aux caractéristiques des différents endroits [171].

Il est important d'observer que malgré les similarités entre les approches de Réhabilitation et de Technologie d'Assistance, quelques différences peuvent être remarquées. Tout d'abord, quelques auteurs affirment que la réhabilitation s'attache aux modèles médicaux de traitement des PSH, tandis que l'autre approche est plutôt basée sur une combinaison entre les modèles sociaux et médicaux [165]. Les produits issus de ces méthodes possèdent aussi des intersections, mais une importante distinction, de notre point de vue, est que les produits de réhabilitation restent normalement dans « l'espace de traitement » et que les technologies d'assistance sont des dispositifs qui « sont attachés » à la personne.

En ce sens, la Figure 31 présente des points de comparaisons entre PA et équipements de réhabilitation. L'analyse est faite à travers quatre variables qui doivent être analysées : l'acceptation du produit, la propriété du produit (appartenance), la durée de la perte de capacité et la durée de l'utilisation du produit. Le schéma fait la distinction entre les PA pour le renforcement de capacités (côté inférieur gauche) et les Equipements de Réhabilitation pour la restauration de la capacité (côté supérieur droite). En analysant le critère de l'acceptation du produit, nous vérifions une échelle dont les extrêmes sont l'acceptation sociale et l'acceptation fonctionnelle. Il se vérifie que l'aspect social joue un rôle très fort dans l'acceptation du produit, cela inclut notamment les attributs esthétiques. En revanche, pour la réhabilitation, il est impératif de mettre l'accent sur le fonctionnement du produit pour qu'il soit bien accepté. D'autre part, les aspects ergonomiques sont plus accentués sur les PA parce qu'ils sont utilisés sur du long terme. Ces aspects peuvent contribuer à l'amélioration des produits destinés au grand public ou conçus « pour tous ». [158].

Ensuite, le critère de la propriété du produit fait référence au « partir avec » (« *go with* » en anglais), propre aux PA, et de l'appartenance des équipements de réhabilitation aux praticiens de soins de santé. Enfin, la perte de capacité et la durée de l'utilisation du produit sont deux critères très liés. Une perte de capacité permanente mène à une utilisation à long terme de PA; tandis qu'une perte temporaire conduit à l'utilisation à court terme pour le soin ou la réhabilitation [158].

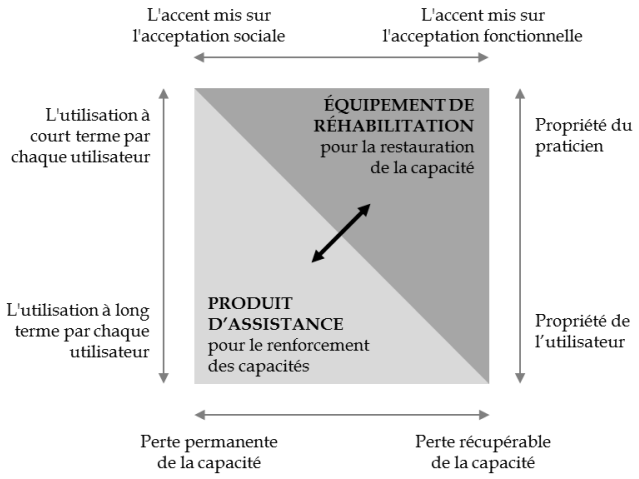


Figure 31 – Produits d'assistance et équipements de réhabilitation [158]

A partir des explications présentées, nous pouvons dire que le schéma montré dans la Figure 31 est un archétype complet pour analyser et distinguer les PA et les équipements de réhabilitation. Toutefois, il est difficile de faire une telle séparation dans la pratique parce que la réalité se montrer souvent plus complexe. Par exemple, un produit comme une paire de béquille ou un cadre de marche peut être destiné à l'assistance, dans les cas de perte permanente ou progressive dû au vieillissement, ou à la réhabilitation, dans des cas de récupération d'une blessure suite à un accident.

Pour conclure, nous observons que la discussion faite dans ce paragraphe nous conduit à une dichotomie entre la conception spécialisée et la conception universaliste, autrement dit, entre concevoir pour tous et concevoir pour les PSH (handicapées ou personnes âgées). Par ailleurs, dans les cas pratiques de conception, la question importante n'est pas de trouver la meilleure approche, universelle ou spécialisée, mais de décider quoi appliquer en fonction du contexte donné [172]. En effet, il existe des bénéfices potentiels venant de la complémentarité entre ces deux approches et cela n'a largement pas encore été exploité [150], [158].

2.3.1.2 Approches universelles et les approches spécialisées : un continuum

Dans le paragraphe précédent nous avons présenté les catégories d'approches universelles et spécialisées comme des classifications avec des frontières bien définies. Cependant, dans la pratique, les approches sont construites par des concepteurs et des scientifiques ; leurs visions peuvent évoluer au fur et à mesure qu'ils participent des différents projets de conception. En effet, la vision des personnes

tend à évoluer ou à changer, de sorte que l'interprétation d'une approche peut progressivement traverser la «frontière» délimitant les domaines universels et spécialisés.

C'est le cas de l'approche de Conception pour le Handicap (*Design for Disability*). A l'origine, cette approche se trouvait dans le champ spécialiste, en se concentrant sur la conception des PA et d'adaptations d'équipements du quotidien et pour les bâtiments. Elle était notamment focalisée sur un modèle médical du handicap : à son origine, cette approche était focalisée sur la manière de répondre aux besoins des vétérans de guerre. Au fur et à mesure que le regard sur les PSH changeait au sein de la société, l'approche s'est établie comme un pont entre les domaines universalistes et spécialisés. Aujourd'hui, connue sou la dénomination de Conception Inclusive (*Inclusive Design*), son application n'est pas limitée aux situations de handicap dues aux déficiences et à l'âge, mais à toute la population [158], [173].

L'approche part du principe que chaque décision prise lors de la conception d'un produit peut exclure une partie de la population, même dans la conception universelle. Afin de surmonter cette exclusion intrinsèque, La Conception Inclusive essaie d'identifier les sources de l'exclusion et de mettre en évidence des moyens de les contourner. L'idée n'est pas de traiter les PSH comme un groupe à part du processus de conception, mais de les inclure dans la réflexion, en évitant que les concepteurs travaillent de manière intuitive pour concevoir un produit juste pour les personnes dites valides [149], [158].

La Conception Inclusive analyse l'insertion des PSH au sein des préoccupations des concepteurs plus tôt, mais pas complètement, comme un continuum. Dans cette perspective, la population est divisée en trois groupes, comme le montre la Figure 32. Le sommet de la pyramide comprend les personnes lourdement handicapées, qui correspondent statistiquement à un petit groupe de personnes. La base de pyramide contient un large groupe composé de personnes valides et celles avec des handicaps mineurs. Finalement, au milieu se trouvent les personnes atteintes de réduction de force et/ou de mobilité [158].

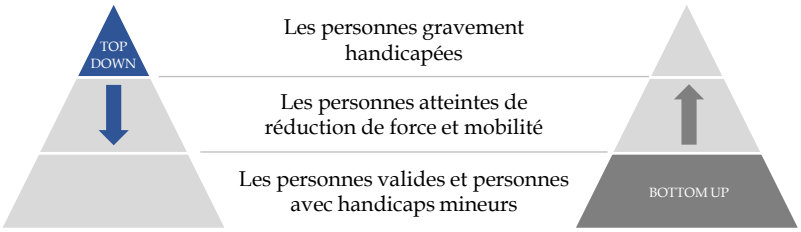


Figure 32 – La pyramide des utilisateurs et les approches de conception [158]

En effet, la conception de produits spécialisés peut être comprise comme une stratégie « *top-down* » dans laquelle les biens sont conçus pour les personnes lourdement handicapées. Ensuite, de tels produits sont progressivement intégrés dans un marché plus large. Contrairement à cette démarche, dans une stratégie « *bottom up* », les produits sont conçus sans regarder les besoins spécifiques des PSH mais en visant le grand public. Progressivement, ces produits sont adaptés pour être plus adaptés

envers les handicapés et aux personnes âgées, par exemple. Les deux démarches se rencontrent au milieu, où les produits et les environnements ne sont pas conçus que pour le grand public ou spécialisés vers une niche, mais ont des traces de chaque domaine [150].

Pour que la Conception Inclusive soit utilisée avec succès, les concepteurs doivent faire preuve d'empathie et comprendre les capacités spécifiques des utilisateurs, leurs besoins et désirs [174]. Dans la pratique, nous pourrions dire que la vraie question n'est pas de savoir si les concepteurs doivent garder une approche universelle ou spécialisée, mais quel est l'approche le plus souhaitée dans chaque cas, ou même quelles sont les avantages de la coopération et des échanges entre les deux domaines [150]. Ainsi, la population peut être sous-divisée en plusieurs de catégories et l'architecture des produits divisée en parties qui ciblent chaque groupe, en gardant une base transversale à tous. Cette idée sera reprise plus tard dans ce paragraphe.

Dans ce sens, pour la conception d'un produit qui cible une large gamme de capacités de l'utilisateur, la Conceptions Inclusive recommande la nécessité de comprendre son interaction avec le produit sur trois niveaux : (i) la capacité sensorielle, liée à l'interprétation des signes du produit émis par une interface ; (ii) la capacité cognitive que permet la compréhension des signes et la prise de décision, et (iii) la capacité motrice pour implémenter une telle décision. La Figure 33 montre la relation entre ces trois types de capacités dans le « Cube de la Conception Inclusive ».

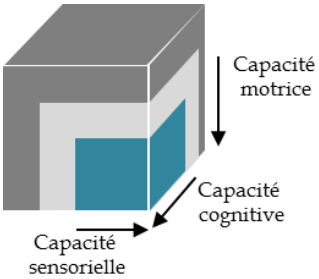


Figure 33 – Le cube de la Conception Inclusive [149]

L'application de cette conceptualisation est mise en place par une méthode de conception à 7-niveaux, divisée en trois étapes : la définition du problème, la définition du système et la validation du système. Dans la première étape les exigences du problème sont identifiées et les spécifications fonctionnelles sont définies. Ensuite, les trois axes de capacité sont analysés tout au long de la définition du système, où la perception, la compréhension et le confort de l'utilisateur sont vérifiées. Enfin, la dernière étape est chargée des analyses des acceptabilités pratique et sociale des solutions proposées [149], [175] La Figure 34 détaille ce processus.

En général, les approches qui visent l'inclusion des PSH dans le processus de conception de produit attaquent le problème de conception à partir de la faiblesse des personnes. Cela donne un côté très négatif et une espèce de « fardeau » à la conception. En revanche, dans nos réflexions, il nous semble important d'attaquer cette problématique à travers un regard positif envers PSH. Cette idée n'est pas

qu'une construction morale, issue d'une éthique personnelle ou de l'incorporation du politiquement correct. Elle est la reconnaissance de l'existence de capacités et de capacités compensatoires développées en présence de handicap et du besoin de les considérer lors de la conception, par exemple, pour la manipulation du PA.

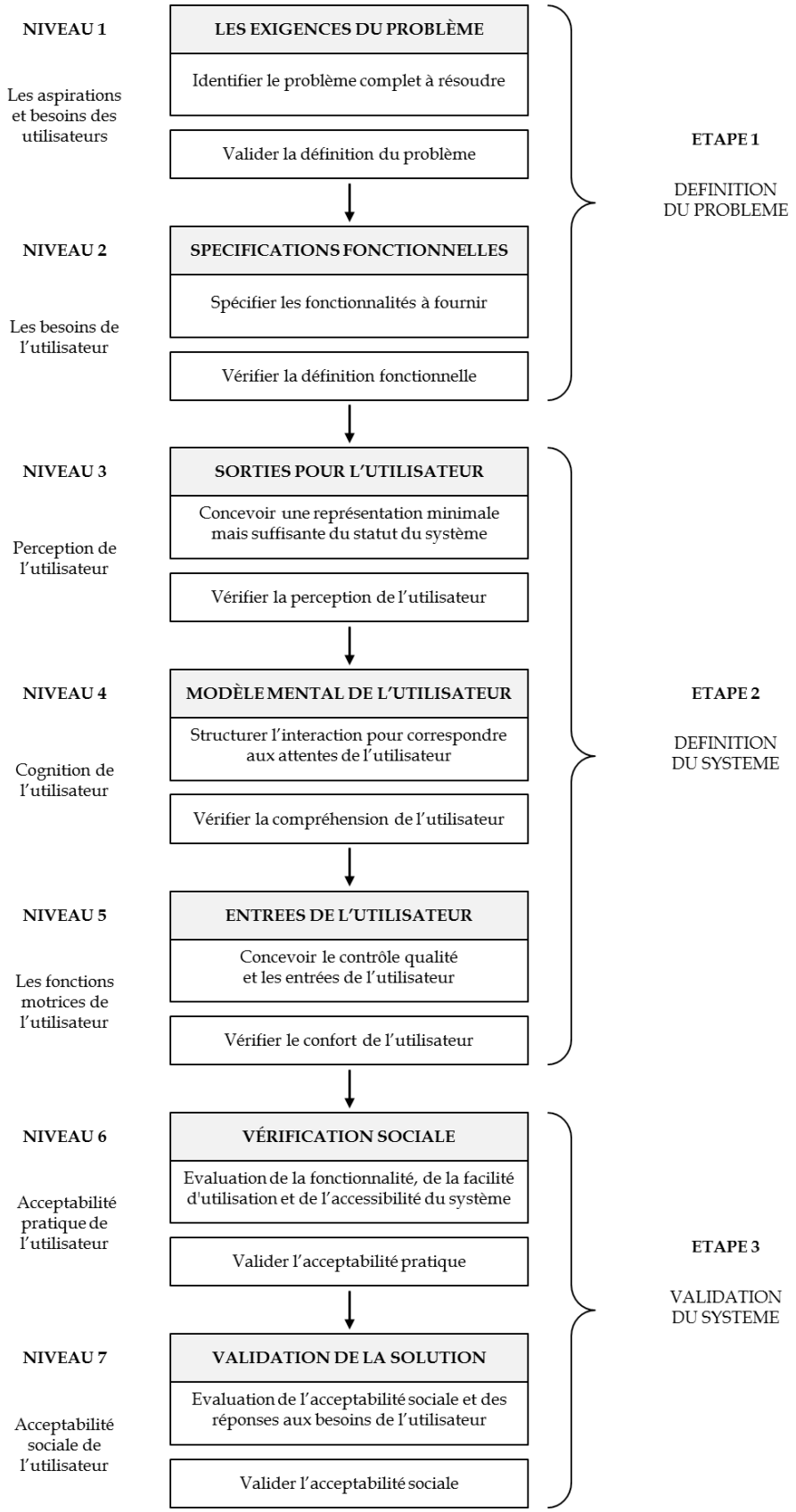


Figure 34 – L'approche de conception à 7-niveaux

Voilà pourquoi nous trouvons que l'approche de Conception Basée sur les Compétences (Ability-Based Design) est très importante. Dans ce cas, la conception est basée sur l'« identification les capaci-

tés de manière fiable et pour concevoir des technologies qui tirent parti des capacités des utilisateurs d'interagir avec les ressources disponibles matérielles et logicielles [168]. Wobbrock et al [168] affirment que l'approche est un raffinement utile de l'ingénierie de réhabilitation, de la conception universelle et de la conception inclusive, en énonçant quelques principes listés dans le Tableau 31.

Principe		Définition	Application
Position	Compétence	Les concepteurs se concentreront sur la capacité et pas sur les incapacités, cherchant à tirer parti de tout ce que les utilisateurs peuvent faire	Requis
	Responsabilité	Les concepteurs doivent répondre aux problèmes de performance à partir du changement du système, pas de l'utilisateur qui doit rester tel qu'il ou elle est.	Recommandé
Interface	Adaptation	Les interfaces doivent être auto-adaptatives ou adaptables par l'utilisateur de manière à mieux cibler ses compétences personnelles	
	Transparence	Les interfaces peuvent donner aux utilisateurs conscience des adaptations et des moyens pour inspecter, passer outre, jetez, revenir en arrière, stocker, retrouver, pré-visualiser et tester ces adaptations.	
Système	Performance	Les systèmes peuvent considérer la performance des utilisateurs, et peuvent surveiller, mesurer, modéliser, ou même prédire telle performance	
	Contexte	Les systèmes peuvent détecter de façon proactive le contexte et anticiper ses effets sur les capacités des utilisateurs	
	Produits de base	Les systèmes peuvent être composés de matériaux ou composants à bas coûts et/ou de logiciels génériques	Encouragé

Tableau 31 – Principes de la conception basée sur compétences [168]

Après la présentation de ces deux approches, nous pouvons revenir à la réflexion sur la relation entre les approches universalistes et spécialisées en discutant de l'existence de dichotomie ou de continuum ou en évoquant une discrétisation d'éléments ayant une nature continue. Pour cela, prenons la Figure 35 comme un résumé stéréotype de la situation.

Dans la Figure 35a, nous nous trouvons dans une situation où les compétences présumées de l'utilisateur permettent d'interagir correctement avec le système. Ensuite, si des utilisateurs ont des impossibilités à utiliser le système, une solution est de définir une adaptation comme le montre la Figure 35b. La partie (c) de Figure 35 montre des systèmes conçus pour différentes compétences et une adaptation aux différentes personnes sans avoir préjugé d'une compétence meilleure ou plus importante. Finalement, dans la dernière partie de la Figure 35 (d), nous illustrons par un exemple, l'approche de conception universelle, où le produit est adapté « pour tous ».

Nous vérifions, à partir la Figure 35 et de la discussion menée dans ces deux derniers paragraphes, qu'il existe actuellement une dichotomie réelle entre les domaines universalistes et spécialisés. En revanche, il existe aussi quelques initiatives qui commencent à regarder la question sous différentes perspectives, notamment l'augmentation du nombre de groupes dans lesquels la société est divisée ou même le focus sur les différences de capacités. En outre, nous pouvons remarquer des influences mutuelles entre les deux approches, très perceptible dans la zone intermédiaire de la Figure 32.

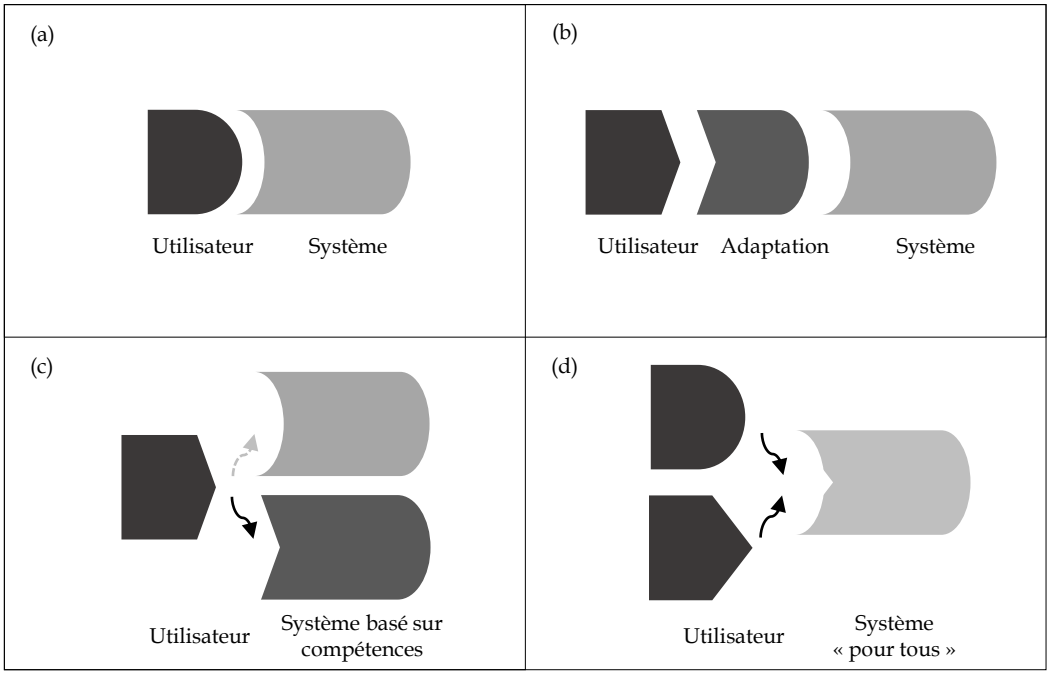


Figure 35 – Exclusion et alternatives pour l'inclusion des PSH. Adaptée de [168]

Toutefois, cette évolution des approches typiquement universalistes se trouve encore contextualisée dans un modèle mental de discrétisation de variables, ou dans un modèle d'« esprit discontinu » [176]. La Conception Inclusive met en relief trois types de capacités : sensorielles, cognitives et motrices. Ces capacités, selon la proposition des auteurs, varient de manière continue. De plus, en regardant les modèles de compréhension du handicap comme le CIF, nous vérifions que les capacités sont contextuelles et dépendantes du contexte environnemental (physique et culturel). Ainsi, où est située la frontière entre les couches des personnes gravement handicapés, celle des personnes atteintes de réduction de force et de mobilité, des personnes avec handicaps mineurs et des personnes valides ? Est-ce qu'un tel type de frontière est valide pour comprendre un phénomène continu, qui englobe les sens, la cognition et la motricité, qui évolue avec le temps et qui est contextuel ?

Le dilemme analysé ici est le même focalisé dans l'analyse entre la dichotomie entre les exigences des utilisateurs des produits et celles liées aux paramètres de performance des systèmes de fabrication. En fait, l'approche de la conception et du système de production doivent être en harmonie. Ainsi, l'utilisation d'une approche de conception sera considérée en fonction des installations pour la production qui sont disponibles dans une organisation. Du point de vue de la conception, il semble d'être plus avantageux de créer des solutions qui intègrent la conception spécialisée et universelle, en considérant le problème de conception dans son plus haut niveau d'abstraction [158].

2.3.2 Quelques modèles particulier pour la conception de PA

L'approche de conception est très importante pour les concepteurs en tant que philosophie de conception. Cependant, elle doit être traduite en actions à partir d'une démarche de conception. Quelques auteurs ont déjà proposé leurs propres modèles de conception et il est important de les analyser pour

(1) apprendre avec les travaux et les expériences partagées et pour (2) faire avancer les propositions à partir de l'incorporation de nouvelles idées.

Les discussions sur la conception de produits, notamment sur les méthodes et/ou les démarches de conception, se focalisent habituellement sur les échecs de conception [148]. La tendance est de supposer que l'application d'une démarche est la raison du succès d'un produit ou que la mauvaise implémentation d'une méthode est la cause d'un échec commercial. D'autre part, il est aussi possible de trouver des acteurs qui culpabilisent les usagers de ne pas avoir compris le produit et son utilisation. De notre point de vue, ce type de comportement est contre-productif et l'important est de comprendre les raisons pour lesquelles une PSH achète un PA et l'utilise dans sa vie quotidienne. Cela se montre essentiel non seulement car le public composé de PSH est très spécifique mais aussi parce que le taux d'abandon des PA ne sont pas négligeables.

L'environnement ou le contexte où se déroule la conception a aussi un effet sur les résultats de la conception, soit la qualité des solutions développées, soit les prix pratiqués, etc. Hersch [148] indique que les projets de nouveaux PA peuvent être élaborés par des Petites et Moyennes Entreprises (PME), des organisions de charité, lors de collaboration entre les industriels et par des centres de recherche ou universités (y compris les projets académiques ou d'étudiants). L'utilisateur final lui-même peut tenter de développer une solution pour son problème personnel. Chacun de ces contextes influence différemment les projets de conception de PA.

Ainsi, en faisant attention aux aspects mentionnés, nous avons sélectionné quelques modèles de conception liés à notre problématique. Magnier et al [177] ont analysé quelques cas d'étude de conception de produits comme les fauteuils roulants, des jouets pour le développement du langage, des contrôle de périphériques d'ordinateur et des jeux vidéo, des dispositifs d'assistance pour l'utilisation des toilettes, etc. Les auteurs ont vérifié qu'il est difficile de trouver des publications qui parlent sur de choix des méthodes de conception de produits pour les PSH. En outre, ils remarquent que l'utilisation de l'approche de conception centrée sur l'utilisateur peut être utile dans ce contexte et que cela pourrait être supporté par des outils propres.

Plos et al [178] proposent une conciliation entre les approches de conception universaliste dans un contexte de marché de niche. Le résultat de leur proposition est aussi classifiable comme une approche de conception où quelques principes sont proposés, mais sans associer la proposition à une méthode. L'approche est intitulée EMFASIS, acronyme pour « *Extended market* » (marché étendu) « *Modular design* » (conception modulaire), « *Functional acceptability* » (acceptabilité fonctionnelle), « *Accessibility* » (accessibilité) et « *Social Integration* » (intégration sociale). Cette proposition est vue par les auteurs comme une stratégie intégrée pour éliminer la stigmatisation des PSH utilisant un PA à travers une préoccupation autour de l'esthétique, de la conception modulaire et de l'acceptation sociale du produit.

Veytizou [179] observe que la conception d'un PA doit considérer la relation entre un individu avec un Produit pour la Participation (IPP). Il est ainsi nécessaire d'identifier les facteurs personnels, y compris les capacités motrices de la PSH, les habitudes de vie et les facteurs environnementaux. L'auteur propose une approche qui part de l'identification des spécificités motrices des utilisateurs en situation de handicap pour réaliser une personnalisation des interfaces physiques ou virtuelles de contrôle d'instruments musicaux réels. En effet, son approche est plutôt spécialisée et classifiable comme une Conception Adaptative qui vise à rendre accessible un produit conçu pour le grand public à partir de quelques modifications.

Cook et Polgar [171] proposent aussi une approche pour la conception des PA appelée « *Human Activity Assistive Technology* » (HAAT) ou Technologie pour l'assistance des activités humaines. Le modèle décrit un être humain (*human*) réalisant quelque chose (*activity)* dans un contexte donné. A partir de cette analyse, un PA est proposé comme catalyseur pour un être humain à faire une activité dans le contexte. En effet, cet archétype ne peut pas être considéré comme une approche ou une méthode de conception, mais comme une manière de comprendre le rôle d'un PA dans un contexte et d'offrir des informations de valeur pour la conception.

Smith-Jackson et al [180] développent un cadre conceptuel pour éliciter et construire un groupe d'exigences des utilisateurs pour la conception de téléphones cellulaires qui sont à la fois utilisables par PSH et par les personnes valides. Ils appellent leur modèle NARA (*Needs Analysis and Requirements Acquisition*) ou analyse des besoins et acquisition d'exigences. Il s'agit de l'utilisation d'entretiens semi-structurés et de groupes de discussion pour éliciter l'information et une approche systématique pour faire la conversion de ces informations en exigences. Les auteurs remarquent que cette méthode peut être utilisée tout au long du processus de conception.

Alvarenga [181] développe une approche méthodologique pour la conception de produits inclusifs qui utilise les principes de la conception universelle. Pour rendre ses contributions plus concrètes, l'auteur propose l'application de ces principes à travers une méthode composée d'activités et de tâches spécifiques réalisées dans les deux étapes initiales de la conception : l'étude de faisabilité et la conception préliminaire. Celui-ci est le premier modèle étudié qui fait une liaison entre un aspect philosophique de la conception et son encadrement par une approche systématique de déroulement du processus. Cette proposition est appliquée par l'auteur dans le cadre de la mobilité personnelle à travers la conception et le prototypage d'un fauteuil roulant.

A leur tour, Aguilar-Zambrano et al [182] proposent aussi un modèle présenté comme une stratégie d'utilisation de la méthode TRIZ (acronyme russe de la théorie de résolution des problèmes inventifs) pour identifier des opportunités pour l'innovation lors de la conception de PA. Ces auteurs appliquent leur modèle également dans le cadre de la mobilité personnelle, mais dans les étapes plus avancées de la conception et indiquent quelques améliorations possibles dans de ces produits, comme dans les systèmes de transmission, de contrôle, de freinage, etc.

Pour finir, nous avons étudié un modèle qui prend en considération les caractéristiques de l'environnement de conception. Goldberg et Pearlman [183] font part de plusieurs expériences de conception de PA menées par des concepteurs non expérimentés dans le cadre de leur formation universitaire. Ainsi, les auteurs font quelques recommandations pour l'amélioration de ces processus de manière à ce que les initiatives soient fructueuses pour la formation mais aussi pour délivrer des PA pour les PSH, et même pour aboutir à la création d'entreprises pour la conception et la fabrication de ces produits. Les recommandations des auteurs sont (1) d'identifier les clients à partir de partenaires cliniques fiables ; (2) d'assurer la transparence entre les instructeurs, les clients et l'équipe de conception ; (3) d'établir des équipes multidisciplinaires et avec des personnes de caractères différents ; (4) d'utiliser des modèles conception orienté par les problèmes et par les solutions en parallèle ; (5) d'utiliser un logiciel pour la gestion du projet et pour la communication de fichiers et de résultats ; (6) de faciliter une interaction fréquente avec le client à travers plusieurs formes comme le contact direct, par téléphone ou la communication en ligne ; (7) de chercher à développer la confiance de rôle professionnel pour inspirer l'engagement des élèves avec l'ingénierie et (dans le cas où il est applicable) dans le domaine de la réhabilitation ; (8) de publier les conceptions des étudiants dans les espaces de partage (bibliothèques virtuelles), idéalement ceux centrés sur les PA ; (9) de soumettre les conceptions des étudiants aux concours d'entrepreneuriat local ou national à partir de l'aide de quelques bureaux universitaires, comme par exemple ceux responsables du transfert de technologie et de développement des entreprises ; et finalement, d'incorporer les occasions de réaliser des processus éducatifs, formels ou informels, pour développer tout un programme lié à la conception de PA.

Nous avons analysé ces modèles sous le prisme de la définition du problème de conception, de la recherche de solutions et de la sélection de solutions [48]. De plus, nous avons vérifié si les modèles étaient plutôt rattachés à une vision de dichotomie ou de continuum entre les approches spécialisés et universalistes. Finalement, nous avons aussi étudié cette littérature à partir d'un regard lié à la fabrication et la distribution des PA dans un contexte de variété de la demande et de nécessité de focaliser la conception aussi sur les contraintes d'efficacité des processus internes des fabricants.

2.4 CONCLUSIONS SUR L'ETAT DE L'ART

L'analyse de la littérature menée pendant ce deuxième chapitre de la thèse a été pilotée par la recherche d'une logique pour l'organisation du processus de conception qui relie la conception et fabrication d'une variété de produits utilisés pour l'assistance des PSH.

Tout d'abord, nous avons identifié que la conception de produits touche plusieurs disciplines et que chacune a son influence sur le produit, sur les indicateurs de performance du processus, sur ses variables de décision et les facteurs de succès. En effet, c'est l'ensemble de ces visions qui nous intéresse dans le cadre de la conception intégrée de PA. Quelques modèles sont plus objectifs et d'autres sont plutôt liées aux lignes et consignes de prise de décision des attributs du produit en conception. Ainsi,

nous distinguons la **Méthode** et les **Principes** de conception dans un modèle de conception de produits pour structurer notre exploitation des autres aspects de la littérature, comme présenté dans le Tableau 32.

Conception *lean*	Customisation de masse	Conception de produits et les PSH
Gaspillage lors du processus de conception et valeur pour le consommateur Attaquer le processus de conception et se concentrer sur les paramètres de conception souhaités au plus tôt possible dans le processus Raffinement de solutions pour le problème de conception de manière lente et graduelle, tout en gardant la conception ouverte à l'émergence de nouvelles propositions Assurer la stabilité du processus de conception et de fabrication à partir de la réutilisation de composants déjà maitrisés par les fabricants. Concentrer la créativité dans aspects plus valorisés par les utilisateurs	La définition de types et de niveaux de personnalisation offerte aux utilisateurs et son emplacement dans la chaîne d'approvisionnement Analyser les impacts de la personnalisation sur la structure du produit et sur l'efficacité des processus Analyser les aspects techniques et d'interactions avec le produit simultanément en construisant une structure souple adaptée aux choix de personnalisation Assurer l'existence des canaux de communication permanents avec les utilisateurs des produits	Concevoir un PA pour compenser les capacités perdues et aussi pour accompagner l'évolution de l'utilisation. Cela intègre les possibles gains de capacités, y compris celles compensatoires, ou la perte progressive due à la condition de la personne Les PSH sont différentes mais les profils sont assez proches de manière à cibler les propositions avec des modifications sur un PA de base

Tableau 32 – Exploitation de la littérature lors de la construction de principes de conception de PA

Quand nous fixons l'objectif d'accorder les besoins d'un public hétérogène et les contraintes de fabrication pour proposer des prix abordables, notre attention se tourne vers les relations entre conception et fabrication d'un produit. Cela nous conduit à l'étude des approches *lean* et de customisation de masse de manière à comprendre comment les besoins et désirs des utilisateurs, la variété de produits et les contraintes des processus internes des entreprises sont accordés dans ces environnements.

Ainsi, les études faites sur la littérature nous apportent des concepts et principes qui nous aident dans la construction d'une proposition initiale de modélisation pour le processus de conception de PA. Cette proposition a été affinée à partir de deux cas d'étude de conception de PA pour la mobilité des personnes et la version finale de ces travaux de recherche est exposée dans le chapitre suivant.

3 PROPOSITION D'UN MODELE DE REFERENCE POUR LA CONCEPTION DE PRODUITS D'ASSISTANCE (PA)

Ce chapitre présente la proposition d'un modèle de référence pour la conception de PA pour les PSH. Il a été organisé de façon à révéler progressivement le modèle proposé. Premièrement, nous introduirons un aperçu du modèle de conception, contenant le cadre et la définition conceptuelle des éléments le constituant. Ensuite, nous détaillerons les principes qui guident le processus de conception, et la méthode de conception avec sa stratégie, ses étapes et ses activités.

3.1 CONSTRUCTION DU MODELE

Un modèle de référence pour le Processus de Conception de Produits a été déjà défini comme un modèle applicable par les entreprises et qui est constitué d'un cadre qui organise le processus de conception de manière organisée. Au cours de notre étude de la littérature, nous avons vérifié qu'un tel type de modèle est important pour fournir une vision consensuelle et unifiée du processus et pour mettre à niveau les connaissances de tous les acteurs impliqués dans la conception.

En outre, nous avons aussi constaté qu'un modèle de conception est normalement composé d'une structure multiniveau comprenant une approche ou philosophie de conception et une démarche ou une méthode de conception. La Figure 36 rappelle ce schéma générique.

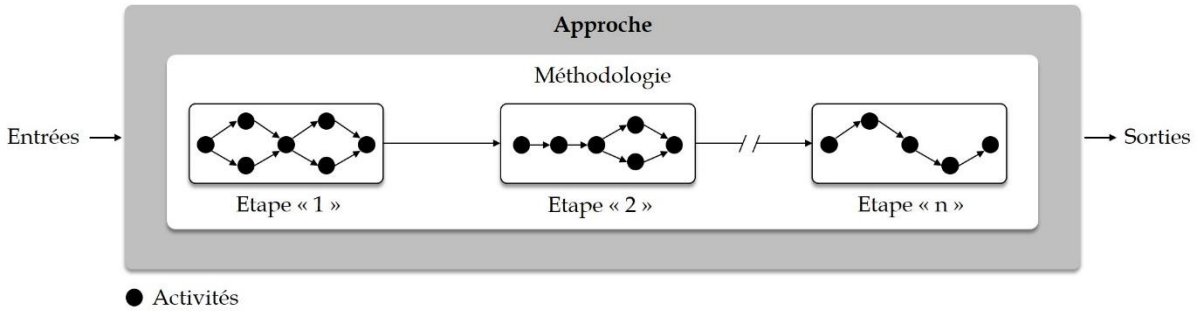


Figure 36 – Modèle générique pour la conception de produits

En effet, la philosophie de conception englobe les principes qui déterminent comment l'effectuer et servent aussi comme critères d'évaluation des résultats de la conception. A son tour, la démarche de conception peut être divisée en différentes parties, notamment les étapes et les activités, ainsi qu'une stratégie pour le déroulement du processus. Celle-ci peut être itérative, cyclique, de décomposition et d'abstraction/concrétisation. La discussion sur la composition des modèles de conception a été réalisée dans la Section 2.1.2.

Après l'identification des techniques de construction d'un schéma général pour guider le processus de conception, nous avons aussi travaillé sur l'analyse des approches pour la conception et la fabrication

d'une variété de produits, notamment la Conception *Lean* et la Customisation de Masse, mais aussi sur les approches de conception qui englobent directement les PSH parmi les public cible des produits. Ces approches sont divisées entre les groupes d'approches universalistes et spécialisées. Ainsi, à partir de telles études, nous pouvons aborder dorénavant l'étape 3 de la méthode de recherche (Figure 2, page 36) pour d'aboutir à une première proposition du modèle de conception de PA.

Dans sa première version, le modèle intégrait quelques principes de conception à prendre en compte, à savoir : (i) La valeur pour les utilisateurs ; (ii) La conception simultanée basée sur des alternatives concourante et (iii) La standardisation flexible des architectures des produits. Ces principes ont été conservés dans la version finale du modèle, mais leur sens a évolué à partir des cas pratiques. Ils seront présentés dans la Section 3.3. Ensuite, les Etapes de Conception ont été définies à partir d'une logique de définition du problème, recherche de solutions et enfin la convergence des options avec la précision de ses détails. De plus, nous avons ajouté une étape liée à la conception des systèmes de fabrication et de livraison du produit par l'entreprise. C'est dans cette logique que les étapes ont été définies et nommées Découverte, Définition, Développement et Distribution. Elles ont été placées à l'intérieur d'une spirale (Figure 37). Elles ont été conservées dans la version finale du modèle et seront détaillées tout au long de ce chapitre.

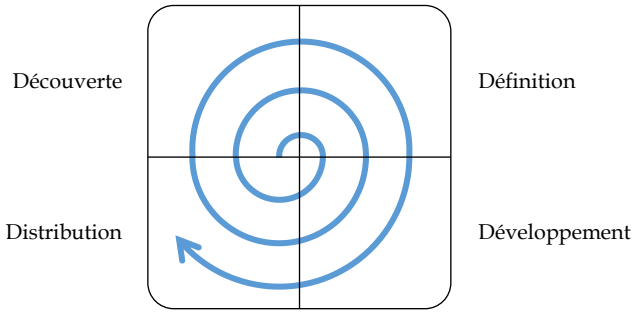


Figure 37 – Modèle préliminaire pour la conception de PA

L'organisation du processus de conception en spirale indique qu'à chaque tour, les concepteurs ont un regard sur toutes les étapes de la conception et à chaque nouveau cycle, le projet avance en termes de prise de décisions et de niveau de détails du produit. Ainsi, un premier tour serait dédié à l'identification du contexte de conception, avec un regard sur les autres domaines affectés par le produit en cours de conception. Ensuite, le produit passerait à la définition du concept, puis à d'autres cycles dont les impacts et conclusions seraient conservés, et ainsi de suite jusqu'à son lancement sur le marché.

Ce premier modèle a été testé sur un premier cas d'étude centré sur la conception de PA pour la mobilité personnelle, notamment les aides à la marche comme les cannes de marche, les béquilles et les cadres de marche (étape 4 de la méthode de recherche). Cela nous a permis quelques avancées en termes de validation et d'amélioration de cette version initiale du modèle. Les éclaircissements issus de l'analyse de l'application de l'étape 4 (étape 5) nous ont permis de proposer plus de détails comme

des activités, de méthodes à mettre en œuvre, et même le changement de stratégie pour le déroulement du processus de conception d'un PA. L'idée initiale de cycle par étapes a été remplacée par une évolution divergente/convergente d'étapes avec des cycles d'activités. Cela se reflète dans la présentation visuelle du modèle et sera présenté dans la Section 3.2 de ce chapitre.

Ensuite, un deuxième cas d'étude encore centré sur la mobilité personnelle a été réalisé. Cette fois-ci les produits ciblés ont été les véhicules non-motorisés, tels que les fauteuils roulants, les cycles et d'autres véhicules à propulsion humaine. Cette initiative a eu pour objectif de soumettre la proposition intermédiaire du modèle pour en vérifier son déroulement lors de la conception de ce nouveau produit (étape 6). Finalement, à la fin des expérimentations, le modèle a été mis en forme (étape 7) dans sa version finale qui sera présentée dans ce chapitre.

3.2 VISION GLOBALE DU MODELE DE CONCEPTION

Le modèle de conception des PA pour les PSH prend en compte les aspects discutés dans la Section 3.1 Nous avons donné une attention particulière aux niveaux hiérarchiques du modèle, autrement dit, les couches relatives aux principes de conception et à la méthode de conception. Cette dernière englobe les étapes de conception, les activités et aussi la stratégie de déroulement de la démarche de conception. En ce qui concerne les activités, nous en distinguons deux types : les activités spécifiques, qui appartiennent à une étape de conception ; et les activités de transition, qui sont plutôt positionnées à l'interface entre deux étapes. En dernier lieu, les deux types d'activités peuvent être divisés en plusieurs tâches organisées par une méthode et supportées par des outils.

Après avoir défini les éléments constitutifs du modèle de conception de PA pour les PSH, nous avons travaillé au développement d'un groupe de symboles qui permet de représenter visuellement chacun de ses objets. La Figure 38 les présente. La partie (a) montre un rectangle qui entoure toute la conception comme un « cocon » et qui représente les principes. La partie (b) montre les étapes de conception divergentes (création d'idées) puis convergentes (sélection d'idées) qui sont symbolisées par des trapèzes croissants et décroissants. Dans la même partie, apparaissent les activités transition qui fonctionnent comme un contrôle de transition entre les étapes. Elles sont surtout (mais pas strictement) axées sur la vérification du respect des principes de conception.

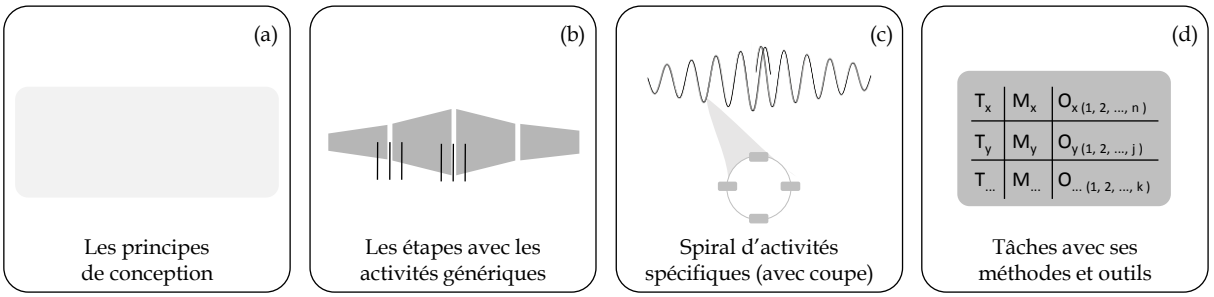


Figure 38 – Les symboles utilisés pour la modélisation du processus de conception de PA

La partie (c) de la Figure 38 montre la spirale d'activités spécifiques, sous forme de cycles (coupe dans l'image), qui peuvent se répéter jusqu'au moment où les résultats sont satisfaisants. De plus, lorsque la variable temps est ajouté à la représentation, les cycles prennent la forme de spirales et une zone de chevauchement apparaît entre les étapes. Ce chevauchement représente la dynamique de l'ingénierie simultanée. Finalement, la partie (d) montre la division des activités (spécifiques ou de transition) en tâches avec ses méthodes de réalisation et outils supports.

Après avoir compris la logique et les concepts représentés par les symboles, nous présentons en Figure 39 un aperçu du modèle global de conception de PA avec ses principes et ses étapes de conception.

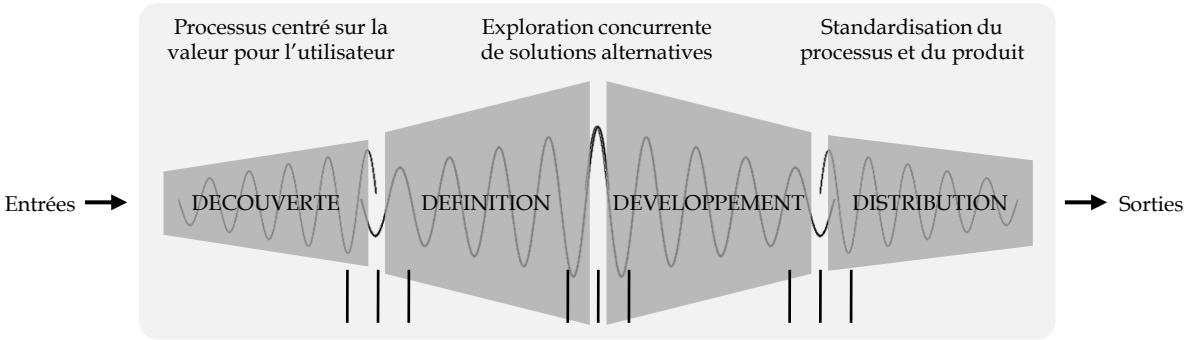


Figure 39 – Aperçu de modèle de conception pour les Produits d'Assistance (PA)

Les entrées de processus sont liées à l'identification d'une opportunité de lancement d'un nouveau produit sur un marché. Ensuite, la méthode de conception prévoit une stratégie de déroulement linéaire des étapes de la démarche jusqu'à ce que le flux de conception se termine avec ses sorties. Ces dernières sont les produits qui peuvent être évalués, sélectionnés, achetés et utilisés par les clients. Puis, en ce qui concerne les principes mentionnés, ils correspondent à la philosophie de conception, ou effectivement le guide de travail pour les concepteurs. Nous avons défini trois principes pour ce modèle ; ils seront traités dans la Section 3.3 de ce chapitre, à savoir :

- Processus centré sur la valeur pour l'utilisateur (abordé dans la Section 3.3.1) ;
- Exploration concourante de solutions alternatives (abordé dans la Section 3.3.2) ;
- Standardisation du processus et du produit (abordé dans la Section 3.3.3).

Dans la seconde couche du modèle (partie b), les étapes de conception sont placées linéairement dans le processus. Initialement, la conception est divergente (lors de l'identification du contexte et de la création de possibilités), puis elle devient convergente (quand les solutions sont choisies et détaillées). Nous définissons quatre étapes de conception présentées en détails dans la Section 3.4, à savoir :

- Découverte – les concepteurs sont centrés sur la compréhension de la situation de conception ;
- Définition – les concepteurs sont chargés de la détermination du concept de produit ;

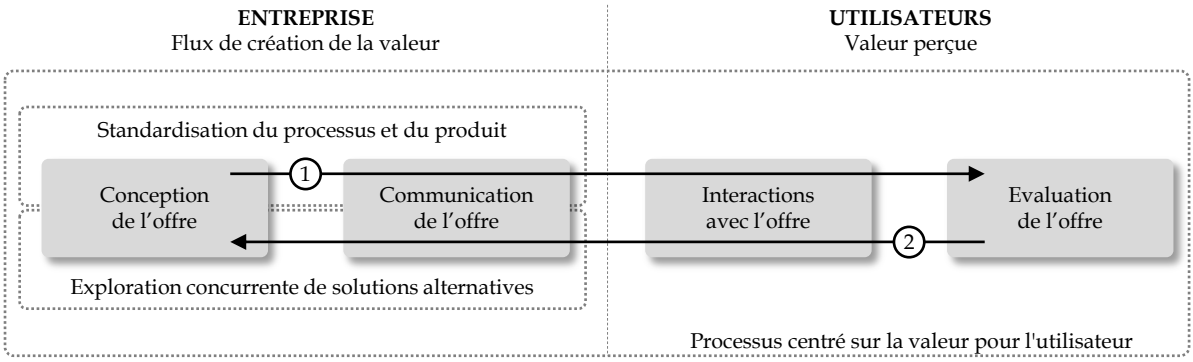
- Développement – les détails des composants du produit et son organisation finale sont atteints ;
- Distribution – focalisation sur la conception du processus de fabrication et de livraison du PA.

Les activités spécifiques seront présentées dans l'esprit de la Figure 38d (tâches, méthodes et outils), lors de la description de chaque étape. Enfin, les activités de transition, qui sont dédiées au bon enchaînement entre les étapes, sont présentées en détail dans la Section 3.3.4.

Le modèle générique proposé est très flexible, c'est à dire qu'il peut s'adapter à plusieurs situations. Cela veut dire que les concepteurs peuvent introduire ou enlever des activités, ou même de nouvelles étapes et faire évoluer les principes, au fur et à mesure qu'ils appliquent le modèle dans différents projets. Cette adjonction ou suppression sera aussi réalisée en fonction des niveaux de complexité et d'innovation du projet. Sa construction, en suivant une logique de hiérarchie qui commence par les principes et qui va jusqu'aux activités et à ses tâches, facilite cette caractéristique d'adaptabilité. De plus, cela s'avère utile également pour la réalisation de gestion de projets, comme le contrôle de la durée, des coûts et de la qualité du produit.

3.3 PRINCIPES DE CONCEPTION

Les principes de conception sont des lignes générales qui guident la conception d'un produit. Ils doivent être employés tout au long de ce processus, de manière à orienter la prise de décision et pour servir comme critères d'évaluation des résultats obtenus. Dans cette section nous nous concentrons sont la présentation de chacun des trois principes prévus pour guider la conception de PA. En effet, la compréhension de cette ligne directrice passe par l'identification de la dynamique de la création de la proposition de valeur et de sa perception par l'utilisateur en situation de handicap. Une telle dynamique est illustrée par la Figure 40.



1 – Proposition de la valeur : Contenu

2 – Evaluation de la valeur : Dimensions de la valeur

Figure 40 – Dynamique de la création et de la perception de la valeur

Notre vision de la création et la perception de la valeur est basée sur une relation entre les concepteurs (et par conséquent les entreprises) et les utilisateurs en situation de handicap (y compris leur entou-

rage : la famille, les amis, etc.). La connexion entre ces deux groupes se produit à travers une proposition de la valeur par l'entreprise et par l'évaluation de la valeur par les PSH. En outre, une telle relation se produit par l'intermède de l'offre de PA et de ses services connexes (vente, ajustements, entretiens, etc.).

Pour qu'une telle dynamique se produise, il est nécessaire que l'offre soit créée et communiquée pour que les PSH puissent interagir avec elle. Lors de ces interactions, les utilisateurs font une évaluation continue de la valeur des produits par rapport à son adéquation et/ou de son adaptabilité à ses besoins et désirs. En effet, il est important de reconnaitre qu'il est difficile d'établir une frontière entre l'interaction avec l'offre et son évaluation par les personnes, parce qu'elles se produisent simultanément.

Finalement, la dynamique qui relie producteurs et utilisateurs à travers les flux de création et de perception de la valeur au moyen d'une offre doit être guidée par les principes de conception détaillés dans cette section, à savoir : le processus centré sur la valeur pour l'utilisateur, l'exploration concourante de solutions alternatives et la standardisation du processus et du produit.

3.3.1 Processus centré sur la valeur pour l'utilisateur

Le premier et le plus important principe de conception dans notre modèle traite du rôle central de la valeur pour l'utilisateur en situation de handicap tout au long du processus d'acquisition et diffusion des PA. La mise en place de ce principe est étroitement liée à l'interaction avec l'offre et son évaluation par l'usager, comme détaillé dans la Figure 41.

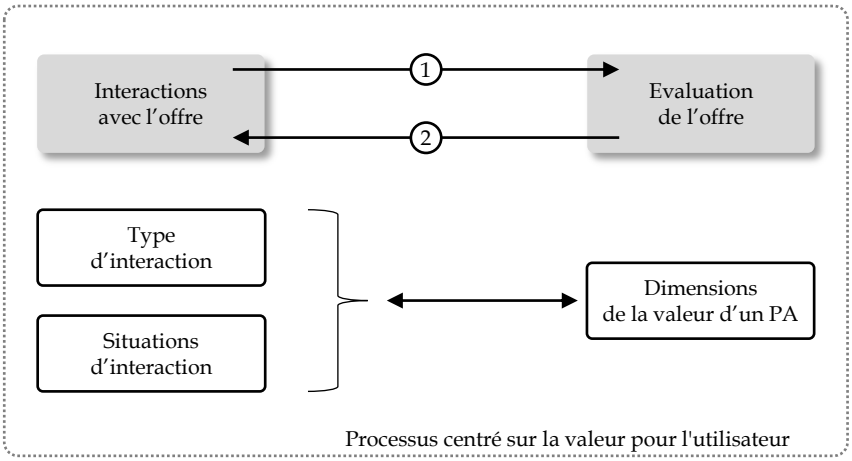


Figure 41 – Perception de la valeur : interactions et évaluation de l'offre

Tout d'abord l'évaluation de la valeur va être dépendante des caractéristiques de l'interaction de la PSH avec le PA. Une telle interaction a lieu à plusieurs moments, dès le contact initial, où l'usager découvre l'offre; jusqu'au contact final, qui peut être la non-acquisition ou l'abandon du PA. En effet, nous pouvons diviser l'interaction avec les PA dans les situations avant, pendant et après la consommation. A chaque moment, l'interaction avec le PA pourra être active, en impliquant une relation plu-

tôt liée aux aspects moteurs de la PSH ; ou plutôt réactive ou sensorielle, liée à l'observation de l'expérience d'une autre personne, des démonstrations du produit, etc. Ces aspects sont détaillés dans le Tableau 33. Lors de chaque interaction, des actions se produisent et la perception construite par les PSH et son entourage évolue.

Situations d'interaction		Type d'interaction
Avant la consommation	Recherche	Réactive - Basée sur les attentes, étant de nature sensorielle
	Sélection	
	Configuration	
	Essais	Active - Basée sur l'expérience avec le produit, étant plutôt liée aux aspects moteurs de la PSH
	Acquisition	
Pendant la consommation	Installation	
	Utilisation continue	
	Suivi	
	Entretien	Réactive - Basée sur les expériences vécues, étant de nature strictement émotionnelle
	Mise à jour	
Après la consommation	Remplacement	
	Abandon	
	Souvenirs	

Tableau 33 – Situations et types d'interaction des PSH avec les PA

Avant la consommation, les PSH font plusieurs actions, comme la recherche et la sélection d'un produit parmi plusieurs possibilités présentes sur le marché. A ce moment, une évaluation de la valeur a déjà lieu, et lorsqu'une offre est considérée acceptable, elle passe aux étapes suivantes. Quand c'est possible, l'utilisateur passe à la configuration du PA (ses particularités personnelles comme le style, les mesures personnelles ou les fonctionnalités) et ensuite aux essais du produit. Ensuite, pendant les essais, les expériences deviennent plus actives, de natures motrices et basées sur l'expérience avec le produit. Puis, l'acquisition fait la transition entre « l'avant » et « le pendant » la consommation. Si le PA passe de nouveau dans des phases de tests, l'utilisateur aura tendance à aller vers son acquisition. Remarquons que ce flux est une vision simplifiée des évènements qui précèdent la consommation. Par exemple, les PSH doivent se préoccuper d'autres aspects comme le prix et la qualité du PA, le remboursement, etc.

Pendant la consommation, le PA est exposé à l'épreuve de l'utilisation continue. L'interaction reste active et le niveau de performance du PA par rapport à l'expérience d'usage est critique. Lors de cette situation, plusieurs actions peuvent avoir lieu, telles que l'installation du PA, le suivi d'usage par des professionnels de santé et l'entretien du PA par exemple. En effet, nous considérons qu'une mise à jour du PA est une action de transition entre « le pendant » et « l'après » consommation, car le PA peut changer d'attributs et devenir un autre produit.

Finalement, nous arrivons à la phase « après la consommation », où le PA peut être remplacé par un autre modèle ou tout simplement abandonné par la PSH. Les raisons peuvent être des insatisfactions avec le PA ou de changement des besoins comme une amélioration ou une aggravation du cadre du

handicap. Enfin, il reste les souvenirs d'usage du produit, qui sont des interactions avec les expériences passées, et qui ont une nature purement émotionnelle.

Ainsi, les concepteurs doivent être attentifs aux situations et aux types d'interaction des utilisateurs avec le PA. Bien qu'ils prennent déjà ces éléments en considération pendant la conception, il faut faire attention à quelques particularités. En effet, si les sensations et les expériences physiques se produisent différemment avec chaque personne, les concepteurs doivent être conscients que l'hétérogénéité est plus importante dès qui nous intégrons les PSH comme cible de la conception.

A son tour, la perception de la valeur se construit dans chaque situation à partir d'une comparaison mentale (cognitive) entre le PA et ses services connexes vis-à-vis des autres offres et de cet ensemble vis-à-vis des préférences de la PSH. Cette évaluation possède plusieurs dimensions qui sont analysées tout au long de l'interaction de la personne avec le PA.

En effet, l'archétype des dimensions de la valeur que nous proposons ici possède deux axes, à savoir : les personnes touchées ou impliquées et les PA. Sur le premier axe, nous listons les PSH et leur entourage ; et sur le second, nous séparons le PA lui-même, en tant que produit, et le PA en cours d'utilisation. De cette manière, les dimensions de la valeur sont définies à partir du croisement de ces éléments. Les interactions possibles entre la PSH et le PA sont associées à l'essence et à l'esthétique de l'artefact. L'interaction entre la personne et le produit lors de l'utilisation nous mènent aux dimensions de l'utilité et de l'utilisabilité. L'interaction entre l'entourage de la PSH avec le PA fournit une projection de l'image de l'utilisateur ; et l'interaction avec la PSH utilisant le PA crée une inclusion sociale. Le Tableau 34 regroupe les dimensions qui ont été détaillées.

	PA	PA en utilisation
PSH	Essence Esthétique	Utilité Utilisabilité
Entourage de la PSH	Image	Inclusion

Tableau 34 – Dimensions de la valeur d'un PA au regard des PSH

Pour mieux comprendre celle proposition, chacune des dimensions de la valeur listées ci-dessus est définie :

- Essence – cette dimension de la valeur fait référence à la nature du PA ou à sa constitution. Autrement dit, l'essence est liée aux attributs de qualité du produit par rapport à sa construction, aux matériaux employés dans la fabrication, à la robustesse du produit, aux sollicitations mécaniques tout au long de l'utilisation. En général, les utilisateurs peuvent se servir de quelques expressions liées à cet aspect comme en disant par exemple que le produit est « éternel » (durabilité) ou qu'il est « incassable » (fiabilité) ;
- Esthétique – cette dimension de la valeur fait référence à la perception personnelle de beauté, de grâce, d'élégance ou le fait que le PA est agréable à regarder L'appréciation esthétique est particulière

à chaque personne, mais quelques aspects d'une évaluation de beauté sont universels, étant associés à quelques caractéristiques de notre cerveau. Ainsi, toutes les personnes semblent valoriser la symétrie, l'harmonie fournie par une forme arrondie, les superficies lisses et agréables à toucher, les couleurs chaleureuses, et ainsi de suite. L'évaluation de l'esthétique d'un PA est plutôt sensorielle ;

- Utilité – cette dimension de la valeur fait référence directe au but du PA, c'est-à-dire aux fonctions techniques livrées par le bien (réalisation d'activités). Ainsi, le produit est utile s'il sert à quelque chose comme à la satisfaction d'un besoin ou à la création de conditions favorables pour la satisfaction de quelques besoins. En fait, l'utilité peut être considérée comme « la raison principale » par laquelle la PSH va se proposer d'acquérir un PA ;
- Utilisabilité – cette dimension de la valeur fait référence à la facilité d'utilisation ou même à la possibilité d'emploi d'un PA dans un environnement donné. Ainsi, l'utilisabilité possède un composant très important sur la relation entre la PSH et le PA, mais s'intéresse aussi au contexte dans lequel le PA est utilisé. En effet, la performance du PA en termes d'utilisabilité (bonne ou mauvaise) va impacter la perception de la PSH sur son utilité ;
- Image – cette dimension de la valeur fait référence à l'impression que l'entourage de la PSH développe à partir de l'appréciation du PA. En effet, il s'agit d'une représentation mentale élaborée à partir d'une perception antérieure tenue par ceux qui regardent le produit. Ainsi, un PA peut être vu comme dégradant, comme un signe d'une faiblesse, ou comme le résultat d'une vision morale d'égalité de droits, ou comme une manière de surmonter les limites imposées par une situation de handicap, etc. ;
- Inclusion – cette dimension de la valeur fait référence à la participation sociale permise par l'utilisation d'un PA. Malgré le fait que l'inclusion constitue un fort composant culturel et de préjugés/acceptation de l'autre, la partie qui concerne le PA s'attache à la sensation personnelle de confiance pour la réalisation d'une activité, et donc de se sentir capable d'agir « comme les autres ». Evidement l'inclusion peut concerner des cas très différents, comme la mobilité, les déficiences mentales par exemple ; et cela implique tout un ensemble d'éléments mis en place pour permettre l'inclusion d'une PSH.

Ces dimensions de la perception de la valeur établies, il semble important de souligner que chacun de ces aspects peut avoir une évaluation positive ou négative. Ainsi, l'essence du PA peut être évaluée comme bonne ou mauvaise, le PA peut être jugé comme étant esthétiquement beau ou affreux, le PA peut être vu comme utile ou inutile, comme facile à utiliser ou inutilisable ou comme un signe de faiblesse ou de justice. De plus, comme ce jugement de la valeur évolue tout au long des interactions avec le PA, il est important d'identifier les dimensions les plus valorisées à chaque instant. Cette dynamique va être dépendante de chaque cas et/ou du PA en question. La Figure 42 montre un exemple de cette relation entre variables d'interaction entre un PA et les dimensions de la perception de la valeur.

En résumé, la perception de la valeur est relative entre de préférences personnelles (plusieurs dimensions valorisées) et situationnelles (moments où la personne peut changer de préférences ou être confrontée à de nouvelles offres). Nous proposons que la compréhension de ce phénomène complexe, qui a lieu auprès des utilisateurs, soit une condition indispensable pour la création d'une proposition de valeur effectivement valorisée par les PSH.

Type d'interaction	**Situations d'interaction**		**Dimensions de la valeur d'un PA**					
Réactive	Avant de la consommation	Recherche						
		Sélection						
		Configuration						
		Essays						
		Acquisition						
Active	Pendand la consommation	Installation						
		Utilisation						
		Suivi et entretien						
		Mise à jour						
Réactive	Après la consommation	Remplacement						
		Abandon						
		Souvenirs						

Essence, Esthétique, Utilisabilité, Utilité, Image, Inclusion

Figure 42 – Exemple de liaison entre les variables d'interaction et les dimensions de la valeur

En effet, l'identification de la perception de la valeur attribuée aux PA par les PSH est aussi dépendant des interactions de ces personnes avec l'offre. Ainsi, avant, pendant et après la consommation, l'identification des facteurs sera faite avec des techniques différentes. Les concepteurs doivent aussi réfléchir sur la pertinence de réaliser des enquêtes sur la préférence des utilisateurs, ou de même un processus d'élicitation à partir de configuration des produits faites par les utilisateurs ou même sur l'observation des utilisateurs dans la vie réelle.

Ensuite, le processus de conception de PA doit être orienté dans un cercle vertueux d'identification et proposition de la valeur. Dans ce contexte, l'identification de préférences par rapport à chaque dimension de la valeur n'est utile que quand elles sont incorporées dans la conception d'un nouveau PA ou dans la mise à jour dans PA existent. Finalement, cette considération sur la valeur pour les utilisateurs doit être traduite par une hiérarchie de la valeur liée aux sous équipes qui travaillent dans la conception de manière que chacun sache quel est sa contribution à la proposition de valeurs aux PSH.

3.3.2 Exploration concourante de solutions alternatives

Suite à la clarification du phénomène d'évaluation de la valeur d'un PA à partir de l'interaction des PSH avec l'offre, nous nous concentrons sur le côté gauche de la Figure 40, page 126. La perception de la valeur, divisée dans les dimensions présentées dans la Section 3.3.1, est la base sur laquelle les alternatives de solution sont créées. En effet, nous avons observé que les PSH font la comparaison entre leurs situations personnelles, les offres actuelles de l'entreprise et des autres alternatives d'acquisition

d'un produit pour répondre à leurs dimensions de la valeur. Ensuite, à travers les moyens employés pour la communication des offres (le contact avec les utilisateurs), les entreprises retiennent l'évaluation sur chacune des dimensions de la valeur. Quelques conclusions de cette analyse peuvent entrainer l'innovation des PA et/ou déclencher une recherche d'alternatives par l'exploration concourante de plusieurs solutions. Ces comparaisons font l'objet d'actions par les concepteurs et ces analyses peuvent aboutir à l'identification de quelques écarts entre les offres et les attentes, comme l'illustre la Figure 43.

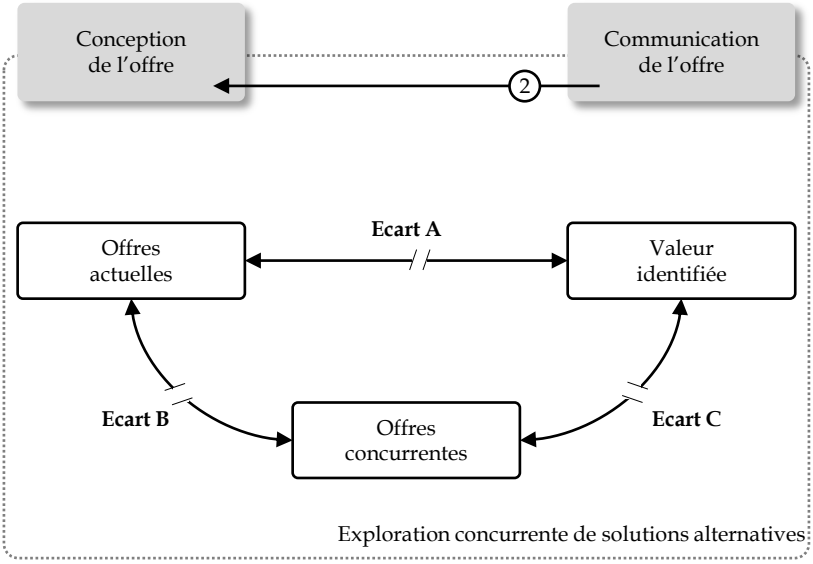


Figure 43 – Proposition de valeur : la dynamique de recherche de solutions pour les PA

L'écart « A » signifie l'existence d'un désaccord entre les offres actuellement proposées par l'entreprise et les attentes ou la valeur pour les PSH dans une ou plusieurs dimensions. L'écart « B » expose les différences entre les offres actuelles de l'entreprise et celles des concurrents. Finalement, l'écart « C » dévoile les points forts et faibles des offres concurrentes au regard des PSH. En effet, la comparaison avec les offres concurrentes est très importante car c'est le marché qui entraine les tendances et les attentes des utilisateurs d'un PA. En outre, ce type d'analyse peut englober des produits qui ne sont pas directement liés au groupe de PA ; par exemple ce sont les industries de l'automobile et du cycle qui peuvent dicter les tendances pour le marché des fauteuils roulant électriques et manuels respectivement. D'une manière générale, chacun de ces écarts peut constituer des opportunités pour améliorer la satisfaction du client comme les points à renforcer ou les avantages à garder dans les offres futures. En outre, cela peut aider à l'identification des capacités nécessaires pour satisfaire les dimensions de la valeur. En conséquence, cette analyse apporte des contributions à l'élaboration de l'espace de solutions.

En effet, lors de la conception de produits, la recherche de solutions pour le problème en question est traditionnellement menée à travers des méthodes basées sur le choix d'un petit groupe de solutions initiales. Ensuite, les concepteurs choisissent « l'alternative la plus prometteuse » pour l'analyser et la

modifier jusqu'à l'émergence d'une solution jugée comme appropriée. Ce type de démarche conduit la recherche de solutions en direction d'un optimum local où des options sont abandonnées très tôt dans le processus. La discussion, qui a été menée dans la Section 2.2.1.2, nous conduit à considérer une approche différente pour la recherche de solutions qui répondent aux dimensions de la valeur pour les PSH.

Le principe d'exploration concourante des alternatives de solution issu de la Conception *Lean* nous oriente vers un autre type de recherche de réponses aux dimensions de la valeur. L'idée est de repousser la prise de décision vers les étapes plus en aval du processus de conception de manière à parcourir les alternatives et à analyser les possibilités à partir de différents points de vue et, spécialement, en vue de garder une place pour une variété des PA permettant de répondre à des besoins des PSH ayant les profils proches.

En outre, ce principe doit être appliqué tout au long du processus de conception, mais il est spécialement important dans les premières étapes car il existe alors un maximum d'options disponibles. Cela met aussi en évidence l'esprit d'investigation et la prévention des coûts liés à des modifications tardives du PA en cours de conception. De manière générale, la dynamique de la mise en place de tels principes est illustrée dans la Figure 44 (identique à la Figure 15, page 74, mais adaptée au présent modèle).

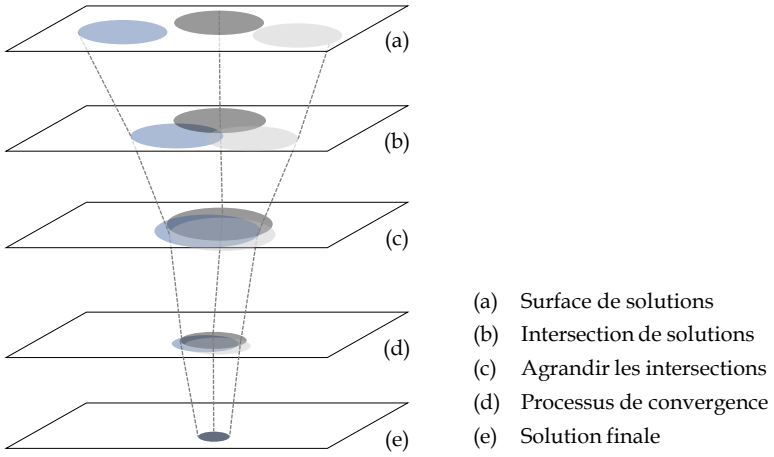


Figure 44 – Exploration concourante de solutions alternatives, adapté de [94]

Tout commence par la construction d'une **Surface des Solutions** (Figure 44a) par les concepteurs et aussi par des autres groupes de l'entreprise ou extérieurs à elle. En fait, dans certains cas, mêmes les fournisseurs et/ou les utilisateurs finaux peuvent être impliqués dans cette activité. Cela va dépendre des niveaux de relation avec les fournisseurs et de l'importance donné aux PSH dans le processus de conception des PA. En effet, définir les niveaux et les types de participation des utilisateurs au cours de la conception est aussi une question centrale du processus. Cette participation est liée à la définition de la valeur, mais elle peut aussi être associée à l'exploration d'alternatives, aux tests, etc. Finale-

ment, les alternatives qui composent la surface de solutions doivent être exploitées de manière concourante.

Ensuite, les personnes impliquées dans le projet cherchent des **Intersections de Solutions** (Figure 44b) dans les listes d'alternatives disponibles. Il est important que cela prenne en considération tous les points de vue des groupes de personnes qui sont impactés par chaque option, avec un focus spécial sur les dimensions de la valeur pour les PSH. Une idée qui répond à plus de variables liées aux flux de création et d'évaluation de la valeur est considérée comme plus robuste, même si elle ne rassemble pas les meilleures options techniques ou esthétiques dans chaque partie du produit.

Par ailleurs, trouver des solutions qui répondent à plusieurs variables, comme nous avons déjà discuté, signifie aussi **Agrandir les Intersections** (Figure 44c). Pour cela, un travail coopératif doit être mené pour trouver quelques facteurs dans la structure du PA qui permette la conception en parallèle de ses différentes parties et/ou des différentes options pour chaque partie. Un exemple d'application de cette recommandation est le cas d'une canne avec différentes possibilités de poignée ou de tige, mais qui sont toujours connectées par le même type l'interface et avec les mêmes dimensions. Avec un tel type d'initiative, les intersections entre les régions s'élargissent, ainsi que la quantité de possibilités elles-mêmes. Non seulement pour identifier ces intersections mais aussi pour que cet élargissement soit efficace en développant des options qui fonctionnent réellement ensemble, un processus de prototypage peut être aussi recommandé. En revanche, ce prototypage doit être fait à un niveau de détail nécessaire pour l'analyse et la prise de décision.

Ensuite, le **Processus de convergence** (Figure 44d) s'initie et la région de chevauchement se rétrécit suite à l'élimination ou à la fusion d'alternatives. Les idées restantes sont plus détaillées et sont testées à travers un processus de prototypage qui suit le flux de conception jusqu'à la définition d'une solution finale. En revanche, chaque idée doit être testée avec le niveau de détail correspondant à l'étape de conception dans lequel le processus se trouve. Ainsi, les détails des prototypes devront être suffisants pour la prise de décision sur la sélection, l'abandon ou la convergence d'idées. De plus, les prototypes servent de dispositifs de communication entre les personnes d'une équipe de conception naturellement multidisciplinaire.

Enfin, la **solution finale** (Figure 44e) ne sera pas la conséquence du raffinement de « l'alternative élue » comme la plus prometteuse. Elle sera le résultat d'une évolution de plusieurs solutions différentes qui auront fait preuve de leur supériorité vis-à-vis les dimensions de la valeur et les contraintes du système de fabrication et de distribution du PA. En outre, pour réaliser l'exploration concourante des alternatives de solution, quelques aspects qui seront présentés sur le principe dans la section « standardisation du processus et du produit » sont également importants et à considérer.

3.3.3 Standardisation du processus et du produit

Le principe de standardisation du processus et du produit est divisé, comme son nom l'indique, en deux axes d'action. Le premier est lié à la standardisation du processus de conception et l'autre est attaché à la standardisation des patterns du produit. Ainsi, le modèle de référence pour le processus de conception de PA peut être considéré comme le standard utilisé tout au long d'un projet de conception. Ce modèle est utile pour guider l'application de la méthode de conception, même si nous devons reconnaitre que le modèle est un idéal prescrit et qu'il ne correspond pas littéralement à toutes les initiatives de conception. Toutefois, l'existence d'un modèle formel pour développer le processus de conception est important notamment pour l'amélioration continue et pour la prévisibilité du processus. Ainsi, son utilisation peut fournir de grands avantages concurrentiels aux organisations.

L'autre axe est lié à la standardisation des attributs du produit. La fabrication de produits sur mesure permet l'offre d'une grande variété de PA pour les PSH avec un bon niveau d'adéquation à leurs exigences. Toutefois, cette approche a un effet négatif sur les prix pratiqués, dû à l'impossibilité d'atteindre des économies d'échelle de fabrication. C'est pour cette raison que nous proposons l'emploi d'une approche qui garde un certain niveau de standardisation des PA pour assurer un contrôle sur les coûts de fabrication à partir d'une certaine économie d'échelle. Pour la mise en place de cette stratégie, l'adoption d'une conception modulaire soutenue par une ou plusieurs plateformes partagées par une famille de PA est recommandée. Cela implique que certains éléments constitutifs du produit soient standardisés, tandis qu'une partie pourra changer selon les besoins spécifiques de l'utilisateur. Ainsi, le processus de conception centré sur la valeur et déroulé à travers une recherche de solutions qui explore des alternatives en parallèle, aboutira à une proposition de PA avec un certain niveau de standardisation.

En effet, nous définissons la standardisation et la personnalisation comme variables complémentaires contenues dans une offre composée de PA et de ses services connexes. Autrement dit, une offre qui conserve inchangeable 6/10 des parties de sa composition, possède un niveau de personnalisation de 4/10 de ses parties. Toutefois, cette définition prend en considération le point de vue de l'utilisateur en situation de handicap. Du côté de l'entreprise, les niveaux de standardisation/customisation peuvent être vus de manière différente. Par exemple, la customisation faite avec des composants standards change la perspective de fractions de standardisation et de personnalisation d'une offre. La Figure 45 illustre la discussion qui nous avons menée dans ce paragraphe jusqu'à présent.

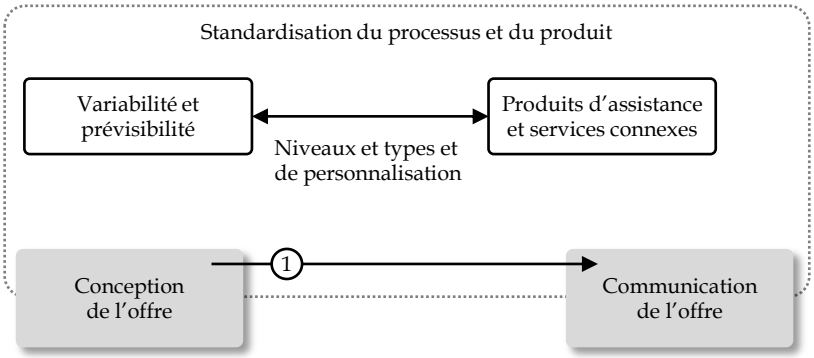


Figure 45 – Proposition de valeur : l'établissement des solutions finales

Ensuite, pour la mise en place du principe de standardisation, la compréhension relative aux différents groupes de produits sera très importante. Ainsi, la recherche de solutions au problème de conception guidée par les dimensions de la valeur peut récupérer la distinction entre les groupes de produits pour le grand public, les produits universels, les PA, les produits pour la réhabilitation et les produits médicaux (termes définis et travaillés en Section 2.3.1). A partir de cette division en groupes, il est possible d'identifier quelques intersections entre ces groupes, soit dans les fonctions livrées aux utilisateurs, soit au niveau des éléments constitutifs du produit, comme le montre le côté gauche de la Figure 46. Ainsi, les intersections citées peuvent avoir lieu au niveau de l'architecture du produit, dans le partage de composants, etc.

Une action pour la mise en place du principe de standardisation des patterns du produit est l'identification des produits qui possèdent de tels types de similarités. Cela permet ensuite la recherche de points communs entre ces groupes et aussi le transfert de solutions entre eux. Nous pouvons considérer une telle proposition comme une approche pour l'innovation qui part de l'état de la technique comme manière de proposer des nouveautés aux utilisateurs en situation de handicap. En effet, le partage réduit la variabilité et les coûts et le transfert permet que de bonnes solutions atteignent d'autres publics.

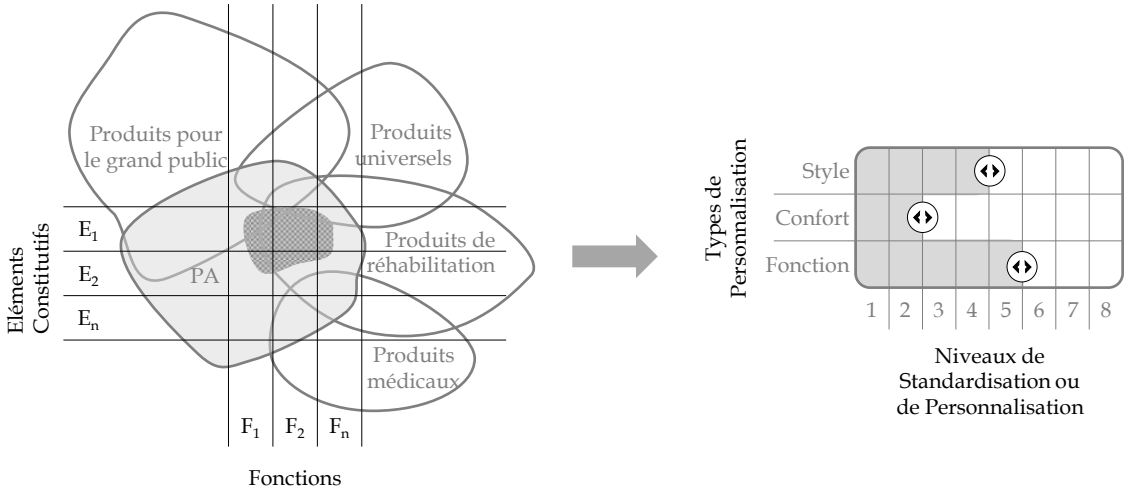


Figure 46 – Intersection entre les groupes de produits et la standardisation de l'offre de PA

D'une manière générale, la standardisation peut être appliquée de façon à prévoir une interface entre de tels groupes de produits. L'idée ici est de trouver une possibilité pour (1) profiter des modules développés pour le grand public et pour (2) faire que les plateformes des modules développés pour les personnes en situation de handicap puissent trouver leur place dans le public général, à condition qu'ils livrent des fonctions utiles à cette population.

En revenant à la question du binôme standardisation - personnalisation et à l'idée que chaque PA possède une partie fixe et une partie adaptable, les concepteurs peuvent développer une plateforme en permettant l'assemblage de plusieurs produits avec différentes mesures de ces variables. Ainsi, comme montre le côté droit de la Figure 46, le produit est composé à partir de l'ajustement entre types et niveaux de personnalisation, discrétisées de la manière la plus proche possible de variables continues.

Par rapport aux types de personnalisation, un PA peut être adapté sur plusieurs aspects. Tout d'abord, la personnalisation peut être faite en termes de style, pour pouvoir s'adapter à la personnalité de la PSH. Ensuite le confort peut être la cible de l'adaptation de manière à ce que le PA soit bien ajusté aux dimensions de la personne. Finalement, le changement peut être fonctionnel, pour permettre d'ajouter quelques fonctionnalités aux profils cognitifs, moteurs et sensitifs de la personne. En outre, les niveaux de personnalisation ont été discutés dans la Section 2.2.2.1 et notre vision sur le sujet est résumée dans le Tableau 24, page 88. Pour répondre à cette recommandation, les concepteurs peuvent proposer une plateforme physique ou simplement une structure fonctionnelle générique complétée par des éléments physiques pour réaliser les fonctions souhaitées par les différents utilisateurs.

Enfin, il semble important de formuler une observation à propos de la relation entre la standardisation et la créativité. Dans la pratique, la standardisation ne doit pas limiter la créativité des concepteurs, mais être une stratégie de concentration des processus créatifs de conception sur les facteurs qui peuvent contribuer à l'amélioration des dimensions de valeur perçue par les PSH.

3.3.4 Application des principes de conception : les activités de transition

L'application des principes présentés dans les paragraphes précédents est vérifiée à travers des activités dites de transition. Ces activités qui ne sont pas directement liées à la conception servent à la construction des modèles mentaux des concepteurs autour des principes de conception, à la vérification de la prise en compte des principes lors de la conception ou à l'évaluation des résultats obtenus, et au management du processus. Nous plaçons les activités de transition plutôt à l'interface entre les étapes de conception qui seront introduites dans la Section 3.4. Ainsi, la Figure 47 illustre les activités de transition avec des lignes droites qui jouent rôle de jalon entre les étapes.

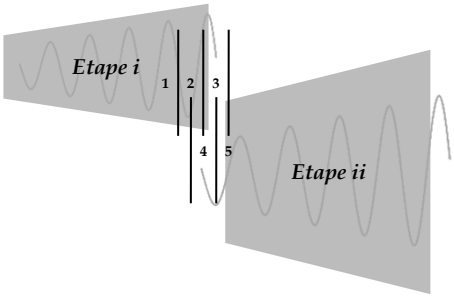


Figure 47 – Activités de transition pour l'activation des principes de conception

Ainsi, en utilisant l'idée de jalons entre étapes de conception, les activités de transition peuvent accomplir un double rôle d'évaluation : la révision du déroulement du projet (y compris son planning, ses dépenses financières et d'autres aspects de gestion) et la révision des résultats des activités de conception (en particulier l'application des principes de conception notamment le processus centré sur la valeur pour l'utilisateur, l'exploration concourante de solutions alternatives et la standardisation du processus et du produit). Quelques activités de transition sont proposées pour effectuer la transition entre les étapes du modèle de conception de PA, à savoir :

1. Documentation et communication des résultats de *l'Etape i*
2. Evaluation des résultats de la conception et du déroulement des activités de *l'Etape i*
3. Documentation des leçons apprises lors de l'évaluation de *l'Etape i*
4. Etude des documents sur les résultats et évaluations faites sur *l'Etape i*
5. Planification de *l'Etape ii*

La toute première activité générique du modèle de référence pour la conception de PA est la **Documentation et communication des résultats de *l'étape i*** – numéro (1) sur la Figure 47. Chaque étape du processus de conception est effectuée avec de but de créer de la connaissance et de permettre la prise de décision. Dans ce sens, plusieurs facteurs sont importants, tels que les utilisateurs, le produit lui-même, le contexte d'utilisation, le système de fabrication, la stratégie de livraison, et ainsi de suite. Ainsi, pour que la connaissance créée ne soit pas perdue, il est important de la documenter avec les moyens technologiques disponibles. De plus, il faut la communiquer au plus tôt possible pour que les autres personnes impliquées dans la conception puissent analyser l'impact de la connaissance créée dans leurs activités.

Ensuite, l'équipe de conception doit réaliser une **Evaluation des résultats de la conception et du déroulement des activités de l'*étape i*** – numéro (2) sur la Figure 47. Le but d'une telle action est de valider la prise ou le retard de décisions et de permettre la correction des problèmes identifiés au plus proche de leur source. Cette analyse inclut de vérifier si les principes de conception ont été respectés. L'activité doit être menée par les responsables de l'*étape i*, mais la participation des personnes impliquées dans les étapes suivantes peut apporter un regard extérieur très avantageux.

L'activité suivante est la **Documentation des leçons apprises lors de l'évaluation de *l'étape i*** – numéro (3) sur la Figure 47. Le but de cette action est de permettre l'amélioration du processus de conception pour les projets futurs et aussi de conserver les informations sur les idées alternatives pour les PA en conception et qui peuvent être récupérées dans les projets futurs. Il est convenable que les responsables pour cette documentation soient les personnes qui ont participé à l'*étape i*.

Parallèlement aux activités d'évaluation et de documentation liées à l'*étape i*, les personnes responsables pour l'*étape ii* doivent procéder à **l'Etude des documents sur les résultats et les évaluations faites sur *l'étape i*** – numéro (4) sur la Figure 47. Cette activité est importante pour que les concepteurs se familiarisent avec le problème de conception, la connaissance créée et les décisions prises ou poussées pour les étapes plus en aval du processus de conception. Normalement, les responsables pour mener cette activité sont les personnes engagées dans l'*étape ii*. Toutefois, la participation des personnes présentes dans l'*étape i* permettre des échanges plus intéressantes.

Finalement, la dernière activité générique consiste à **Planifier *l'étape ii*** – numéro (5) sur la Figure 47. Elle englobe les prévisions concernant les activités qui seront réalisées, la relation entre elles, les ressources et temps nécessaires pour leur exécution. Ainsi, cette planification doit prendre en considération les informations et les ressources disponibles, les principes de conception, et aussi les niveaux d'innovation et de complexité du PA en conception.

Nous pouvons penser que la première étape du processus de conception sera juste cette activité générique de planification, mais des informations et connaissances issus des autres processus de l'entreprise sont aussi nécessaires pour démarrer la conception. De plus, une autre remarque importante sur les activités de transition concerne à la participation des équipes de conception. La Figure 48 liste les cinq activités prévues et leurs responsables. Nous pouvons observer les intersections entre les équipes responsables pour les étapes i et ii dans les activités (2), (3) et (4), en insistant sur l'importance des échanges d'information entre eux.

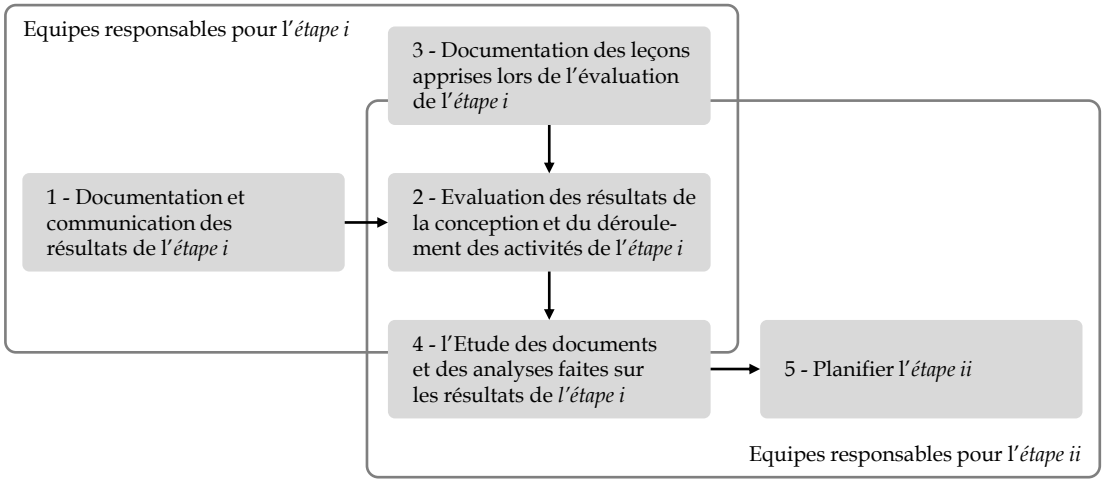


Figure 48 – Les activités de transition et l'équipe de conception

Après cette présentation sur les principes de conception et sur les activités de transition responsables d'une bonne application de ces principes, nous abordons la présentation de la méthode de conception avec ses étapes et ses activités spécifiques de conception de PA pour les PSH.

3.4 METHODE DE CONCEPTION

La méthode de conception comporte les étapes constituées des activités spécifiques directement liées à la conception du PA. Elle constitue une stratégie pour le déroulement de la démarche de conception, autrement dit, l'organisation du flux de travail de conception entre les différentes étapes. Selon le modèle de référence pour la conception de PA présenté dans la Figure 39, le processus est divisé en quatre étapes : la Découverte, la Définition, le Développement, et la Distribution. Les activités spécifiques de chaque étape sont organisées en une séquence de tâches, réalisée dans une courte période de temps, composée de ses méthodes et supportées par quelques outils.

Les activités spécifiques présentes dans une étape de conception d'un PA dépendent du degré d'innovation et de complexité du produit. Ainsi, avant la mise en application du modèle de conception de PA, les concepteurs doivent analyser les particularités de l'entreprise et les caractéristiques du PA pour prévoir quelles sont les activités nécessaires pour un projet particulier. Nous allons pour notre part présenter le modèle complet. Les 4 sections suivantes se focalisent sur les présentations des détails de chacune des étapes de conception de PA.

3.4.1 Étape I : La Découverte

La première étape de la méthode de conception de PA, la **Découverte**, doit permettre l'obtention d'une compréhension large et profonde de la situation pour laquelle le PA est conçu. Tout d'abord, il faut découvrir qui est l'utilisateur en situation de handicap pour qui concevoir un PA, y compris quels sont ses besoins et ses attentes. Ensuite la découverte consiste en l'identification de la fonction (ou des fonctions) que le PA doit assurer auprès des PSH. Puis, il est important de connaitre d'autres offres qui sont semblables à ce nouveau PA et qui sont présentes sur le marché. En effet, l'analyse de l'état de la technique apporte des idées sur les tendances du marché, sur les attentes des PSH et peut même pointer quelques opportunités de conception. Toutefois, cette analyse ne doit pas être limitée aux PA, mais à d'autres groupes de produits comme ceux destinés au grand public, aux produits universels, aux produits pour la réhabilitation, etc. L'étape de Découverte finit par l'identification et l'étude de l'environnement de l'utilisation du PA et son influence sur l'expérience d'usage de la PSH. Les activités spécifiques de l'étape de Découverte sont proposées dans la Figure 49.

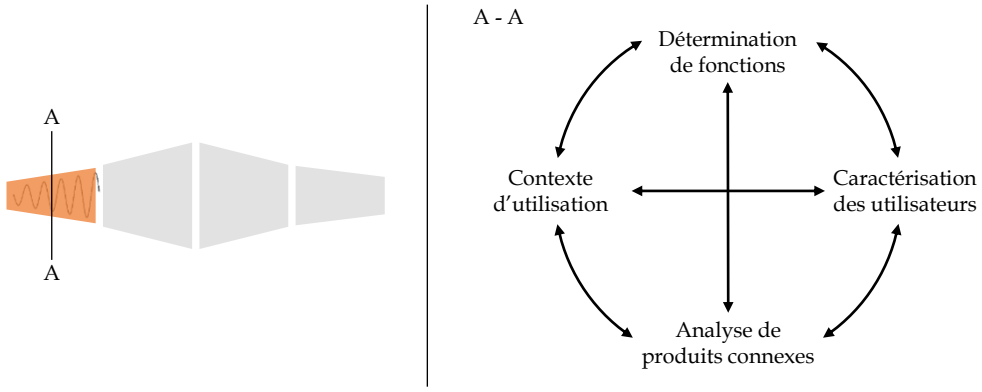


Figure 49 – Activités spécifiques de l'étape de Découverte

Comme nous voyons à partir des figures ci-dessus, les activités spécifiques de l'étape de Découverte (et des autres étapes aussi) sont organisées de manière cyclique. Il en va de même pour les autres étapes. Ainsi, chaque activité peut être réalisée à partir d'un système de rétroaction entre elles et à chaque tour les niveaux de densité et de précision dans la connaissance créée augmentent. Les tâches et méthodes utilisées dans chaque activité seront détaillées dans les paragraphes suivants.

3.4.1.1 Détermination des fonctions du PA

L'étape de Découverte s'initie avec l'activité de Détermination des Fonctions du PA, autrement dit, le support que le produit doit proposer à un type d'utilisateurs. La Figure 50 présente les tâches principales pour atteindre l'objectif de l'activité, aussi bien que les entrées nécessaires à sa réalisation et les sorties souhaitées. La détermination de fonctions doit commencer par une orientation centrale, comme une stratégie organisationnelle ou une orientation d'un groupe de recherche scientifique. Normalement, la conception est focalisée sur un groupe spécifique de PSH ou de PA, par exemple les personnes avec mobilité réduite ou des PA destinées aux problèmes de vision etc. Ainsi, il parait difficile de séparer les produits et les profils des utilisateurs.

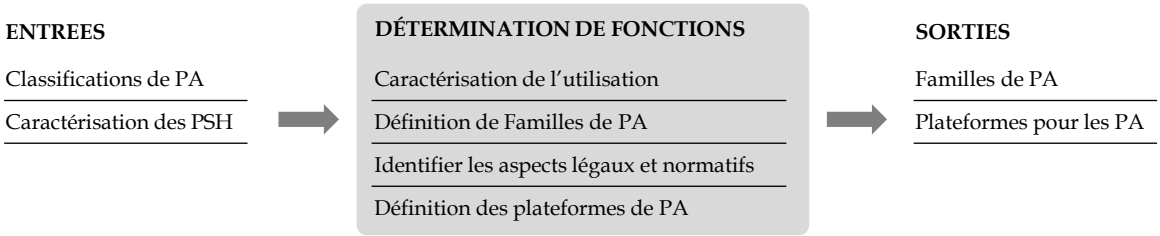


Figure 50 – Etape de Découverte : la détermination de fonctions

Cette direction initiale doit conduire l'équipe de conception à la recherche de documents liés à la classification de PA et à la caractérisation des situations de handicap. Malgré l'existence de plusieurs documents ou références sur cette thématique, nous utilisons la norme ISO 9999 : 2011 - Produits d'assistance pour personnes en situations de handicap: classification et terminologie (ISO 9999) et la Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé (CIF). Ces deux docu-

ments sont construits sur la même base conceptuelle et quelques connexions ont été déjà développées entre eux. Cela permet l'exécution de la tâche de **Caractérisation de l'utilisation des PA** [2], [3], [184].

En effet, la norme ISO 9999 divise les PA en trois niveaux : les Classes, les Sous-classes et les Catégories. En effet, dans un contexte de conception (une entreprise, un institut de recherche, etc.), l'orientation centrale mentionnée précédemment conduit normalement les concepteurs vers une classe de produits. Puis, cela pourra progresser sur la proposition d'une Famille de PA, c'est-à-dire, un groupe de sous-classes et/ou de catégories de PA qui livrent des fonctions assez proches et qui peuvent être assemblées à partir d'une ou de plusieurs plateformes communes. L'identification de telles Familles liées aux fonctions des PA est faite à partir de quelques facteurs de la CIF, tels que les Fonctions Organiques et les Structures Anatomiques touchées par une maladie ou une blessure, aussi bien que les Activités et Participations souhaitées. En fait, des profils personnels semblables peuvent nécessiter l'utilisation de différents PA d'une famille. Ainsi, différentes personnes paraplégiques ont besoin de différents fauteuils roulants selon le niveau de fonctions préservées, selon le niveau d'autonomie de la PSH. D'autre part, une même personne peut avoir besoin de différents fauteuils pour la réalisation de différentes activités.

Dans ce sens, la Figure 51 présente une Classe *i* de PA avec ses Sous-classe i_j et les Catégories C_{ijk}. A partir de la caractérisation de l'utilisation, il est possible d'établir quelques profils d'usage qui permet la **Définition de Familles de PA** associées à la Classe *i*.

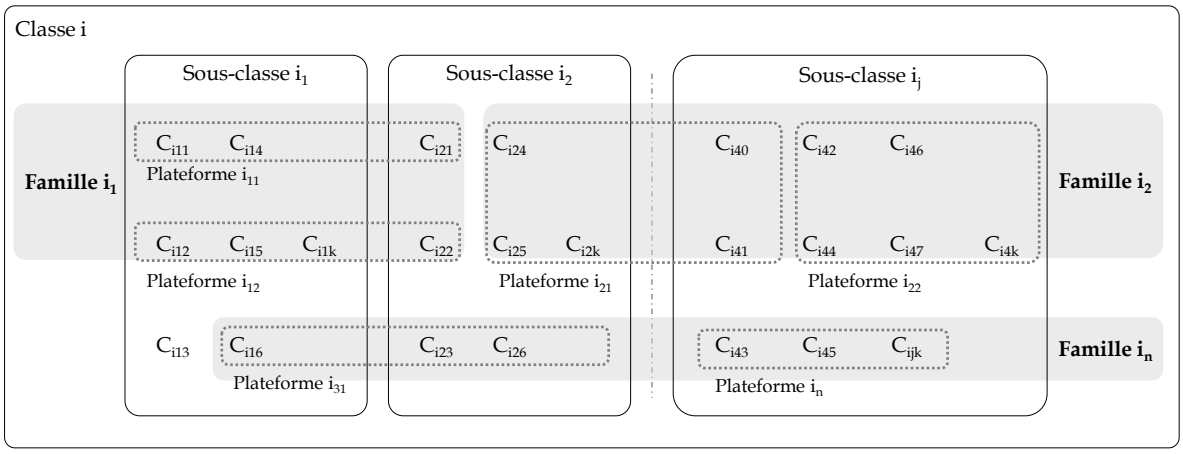


Figure 51 – Définition de Familles *i* et de Plateformes de PA de la Classe *i*

Une fois que les Familles *i* du PA de la Classe *i* sont définies, il faut **Identifier les aspects légaux et normatifs** qui doivent être respectés lors de la conception de ces produits. Ces aspects peuvent être des lois, des normes techniques et d'autres documents qui permettent la validation légale du PA dans un marché réglementé et même l'accès des PSH aux systèmes de remboursements des produits acquis. De plus, cela permet d'identifier les points convergents et divergents des différents documents de manière à faciliter l'identification de critères à respecter lors de la conception.

De plus, une telle identification des exigences permet aussi la visualisation de similarités ou de transversalités techniques entre les catégories de PA d'une Famille *i* et l'élaboration d'une version préliminaire de la **Définition des plateformes des PA** de la Classe *i*. En effet, la plateforme est définie comme la base qui permet l'assemblage des PA d'une Famille *i*, ou une partie d'une Famille *i*. Ainsi, nous pouvons différencier les Familles des plateformes en considérant que les premières composent des PA qui livrent des fonctions semblables (similarité fonctionnelle) et que les dernières sont plutôt liées à la structure du PA (similarité technique). La Figure 51 présente quelques Familles de PA et chacune avec plus d'une plateforme.

Les Familles et plateformes peuvent être élargies pour inclure des autres groupes de produits comme les produits pour le « grand public », ceux dits universels et ainsi de suite. Concevoir une plateforme générale et des modules spécifiques pour chaque situation apportera des avantages soit en termes de coût soit en termes d'interchangeabilité d'idées, dans le même esprit que la Figure 46, page 136.

3.4.1.2 Caractérisation des Utilisateurs

L'activité suivant l'étape de Découverte est la Caractérisation des Utilisateurs. Celle activité est centrale pour l'approfondissement des connaissances sur les PSH, y compris leurs besoins, désirs et attentes. Bien que la première liaison entre le PA et les usagers ait été esquissée dans l'activité précédente, l'identification d'une liste plus claire des lignes directrices pour la conception du PA est nécessaire. Ainsi, cette activité envisage l'identification d'aspects plus pointus et détaillés sur les utilisateurs, comme montre Figure 52.

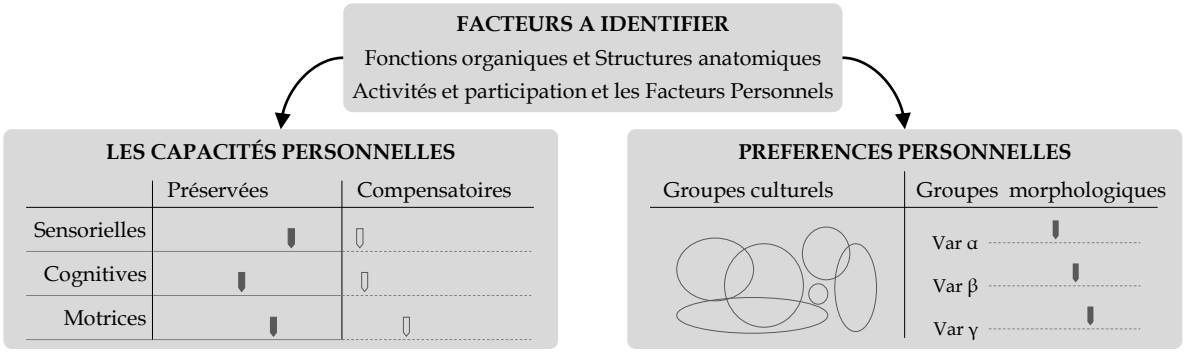


Figure 52 – Facteurs à identifier dans la caractérisation des utilisateurs

La partie supérieure de la Figure 52 indique les facteurs à identifier de manière à ce que les concepteurs puissent organiser l'analyse des capacités et des préférences des PSH par rapport aux PA en cours de conception. En effet, les capacités sont séparées entre les capacités préservées et les capacités compensatoires développées par les PSH du fait de leur condition personnelle. Les préférences sont liées aux groupes culturels dont la personne fait partie (comme les styles artistiques, les préférences, les goûts, les causes défendues, les positions politiques, etc.) et aussi aux variables morphologiques comme la taille, le poids, le type morphologique (biotype), et ainsi de suite.

En ce qui concerne l'identification de ces facteurs, la Figure 53 présente quelques tâches liées à cette activité, ainsi que les entrées nécessaires que les sorties souhaitées.

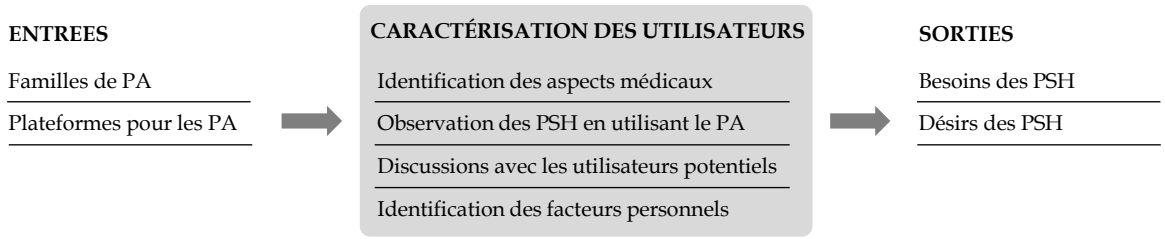


Figure 53 – Etape de Découverte : la Caractérisation des utilisateurs

L'activité commence par une recherche des **Connaissances sur les aspects médicaux liés au contexte** de capacités ciblées par le processus de conception. Ainsi, de précieuses informations peuvent être acquises à travers des publications techniques et scientifiques sur le sujet ou à travers des discussions avec les professionnels de santé spécialisés dans les profils de handicap auxquels le PA se destine. Les aspects moteurs, cognitifs et sensoriels doivent être pris en considération. Dans ce contexte, un aspect qui mérite une remarque spéciale est la considération sur l'aspect positif du handicap. Autrement dit, les PSH n'ont pas seulement des pertes ou des manques de capacités, mais aussi des capacités résiduelles et, plus important, des nouvelles capacités développées à partir de leur situation de vie. Par exemple, des personnes aveugles ou malvoyantes développent des capacités auditives pour compenser la perte de la vision. Cela signifie que le PA est conçu pour quelqu'un qui possède des capacités, telles que celles que seront utilisées pour la manipulation du PA.

Ensuite, d'autres sources précieuses d'information sur l'usage peuvent être obtenues à travers l'**Observation de l'utilisation des produits** (ou à travers l'identification des difficultés issues de l'inexistence d'un type de PA). En effet, l'observation peut apporter des subtilités qu'il ne serait pas possible d'identifier juste à travers les discussions avec les professionnels de santé ou à partir de la littérature. Encore une fois, l'observation doit considérer les manques de capacité et les capacités acquises. En outre, l'approche d'observation peut considérer l'analyse du besoin de la PSH sans l'emploi d'un PA (si possible). Le niveau d'innovation des propositions résultantes tend à être plus élevé.

Puis, à travers des **Discussions avec les utilisateurs potentiels**, aussi bien qu'avec l'entourage de la PSH (la famille, les amis, les soignants, etc.), des autres particularités sur l'usage du PA peuvent être identifiées. De plus, cette initiative doit servir à identifier les préférences esthétiques des PSH et à créer des liens affectifs entre les concepteurs et les utilisateurs. Enfin, la dernière tâche, l'**Identification des facteurs personnels,** est centrée sur les données traditionnellement utilisées pour la détermination de profil destiné à un marché de niche, telles que les données démographiques comme le sexe, l'âge, le profil socio-économique, etc. Nous considérons que ces informations sont importantes pour le processus de conception, mais qu'elles ne sont pas suffisantes pour la construction d'un ensemble d'exigences des PSH, ni pour créer une empathie des concepteurs vis-à-vis des clients finaux.

3.4.1.3 *Analyse de produits connexes*

En parallèle aux activités précédentes, une analyse des produits connexes peut être poursuivie afin d'identifier les intersections entre les solutions présentes sur le marché et les plateformes de PA proposées pendant la conception. Les tâches liées à cette activité d'analyse sont présentées dans la Figure 54, avec les entrées et les sorties prévues.

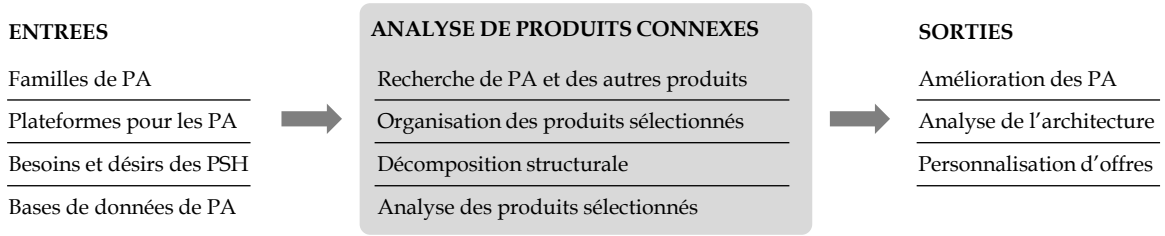


Figure 54 – Etape de Découverte : l'analyse de produits connexes

La première tâche consiste à identifier l'offre à partir d'une **Recherche de PA et des autres produis** connexes. Ceci peut être fait à travers des bases de données spécialisées dans le domaine des technologies d'assistance. Les produits sont sélectionnés pour l'analyse et les informations à leur sujet doivent être enregistrées, notamment des images, diagrammes et documents de brevets, manuels d'assemblage et d'utilisation etc. Les entreprises peuvent même acheter directement quelques PA pour y faire des analyses à la source. Dans ce cas, les analyses documentaires peuvent servir à mieux cibler les achats de PA pour l'étude, de sorte que les biens acquis apportent de la connaissance pour l'équipe de conception. En parallèle, les concepteurs doivent stocker l'information et proposer une **Organisation des produits sélectionnés** selon quelques critères qui peuvent les aider dans les tâches suivantes.

Ensuite, les PA et les autres produits organisés passent par une **Décomposition structurale** à plusieurs niveaux de construction (systèmes, sous-systèmes, etc.) de façon à pouvoir étudier leurs attributs. Cela fournit des informations sur les structures des produits dans le marché, les choix de l'architecture, les innovations et les solutions proposées. En fait, cette tâche permet à l'équipe de conception d'apprendre avec les autres concepteurs à travers l'analyse de leur travail. La méthode pour la réalisation de la tâche est décrite dans le Tableau 35 et complétée par la liste de vérification de l'Annexe 1.

Décomposition structurale	Description
Décomposer les PA en éléments de leur structure	Il s'agit de décrire le concept de PA en termes de fonctions livrées et de détailler sa composition dans une structure hiérarchique de systèmes, sous-systèmes, etc. Une telle décomposition doit être faite jusqu'au niveau de détail considéré important pour l'analyse
Documenter les interactions entre les éléments	Il s'agit d'identifier les interactions existantes entre les éléments physiques du PA décomposé. Ainsi, le type de relation entre chaque paire d'éléments dans le même niveau doit être documenté comme (i) spatial, (ii) énergie, (iii) information et (iv) matériel. Ensuite, les responsables de l'analyse doivent définir l'importance de l'existence d'interaction entre chaque paire d'éléments : (+2) nécessaire, (+1) souhaitée, (0) indifférente, (-1) indésirable et (-2) préjudiciable

Regrouper les éléments en morceaux	Il s'agit du regroupement des éléments de plusieurs produits en fonction des critères fixés par l'équipe de conception. Cela permet de raffiner la définition des familles et des plateformes de PA et leur analyse

Tableau 35 – Décomposition et regroupement des PA sélectionnés

La décomposition permet le raffinage de la proposition des plateformes faite lors de l'activité de Définition de Fonctions (Figure 51). Ainsi, la partie à gauche de la Figure 55 présente la décomposition des PA dans les catégories (C_{i43}, …, C_{ijk}) d'une plateforme i_n. Une analyse transversale de ces PA peut conduire à la création d'une Structure Transversale permettant de décrire par un ensemble de systèmes tous les PA de la plateforme.

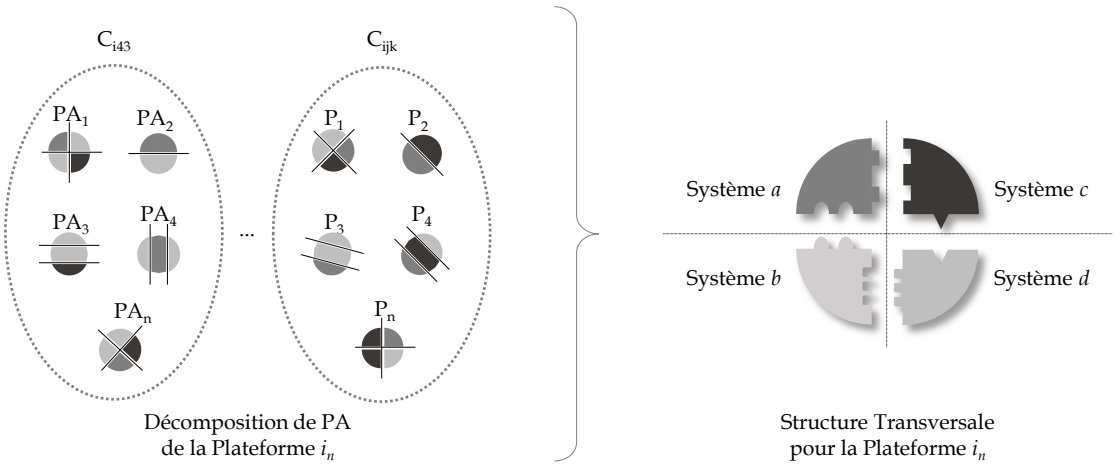


Figure 55 – Création d'une structure transversale pour une plateforme de PA

Finalement, l'équipe de conception peut procéder à l'**Analyse des produits sélectionnés** par rapport à quelques critères, tels que les facteurs d'acceptation et d'abandon de PA, les types et niveaux de personnalisation disponibles pour les PSH, la composition architecturale des produits, leur complexité. De plus, cette analyse permet d'identifier les points forts et faibles des offres qui représentent le marché actuel du type de PA en cours de conception.

3.4.1.4 Identification du contexte d'utilisation

La dernière activité de l'étape de Découverte est l'**Identification du contexte d'utilisation du** PA. Elle est un complément important pour comprendre les besoins des utilisateurs, en prenant en compte les variables qui ont une influence potentielle sur le produit en cours de conception. En effet, l'environnement a une influence sur la performance de la PSH utilisant un PA, et les concepteurs ne doivent pas ignorer cet aspect. Par exemple, un fauteuil roulant préparé pour l'utilisation dans un milieu urbain accessible ne sera certainement pas utile dans un milieu non-accessible comme des environnements naturels accidentés. En outre, le contexte d'utilisation possède aussi un aspect lié à l'acceptation et l'accueil des PSH comme partie prenante de la société. En synthèse, contexte d'utilisation a un côté tangible et un côté intangible, comme est montré dans la Figure 56.

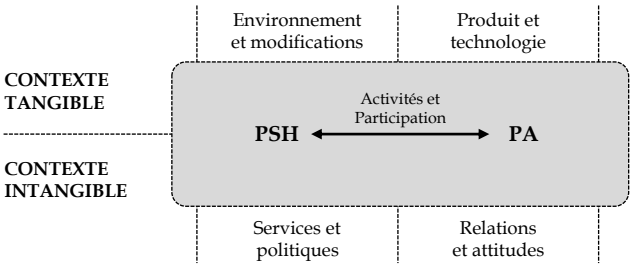


Figure 56 – Contexte d'utilisation d'un PA par une PSH

La Figure 56 montre la division entre les parties tangibles et intangibles du contexte d'une PSH qui utilise un PA pour réaliser une activité et être acteur de notre société. La partie tangible est divisée en deux éléments : Environnement et Modifications et les Produits et Technologie. Ensuite, la partie intangible est composée des Services et Politiques et des Relations et Attitudes des différents groupes de personnes vis-à-vis des PSH. En ce sens, le Tableau 36 montre quelques facteurs associés à chaque partie du contexte d'utilisation d'un PA. Il est important de remarquer que la liste incorpore des éléments de la CIF [3], y compris les sous-divisions des deux contextes (tangibles et intangibles).

En ayant compris le contenu de l'activité, nous listons dans la Figure 57 les tâches recommandées pour caractériser le contexte d'utilisation d'un PA, avec les entrées nécessaires et les sorties souhaitées. La caractérisation commence par l'identification des **Produits et Technologies** naturels ou fabriqués par l'homme ou des systèmes de produits, équipements et technologies situés dans l'environnement immédiat d'une PSH.

Environnement et modifications	Produit et Technologie	Relations et attitudes	Services et politiques
Changements Temporels Climat et pollution Evénements naturels Flore et faune Géographie physique Lumière Population locale Son et vibrations	Aménagement du territoire Bâtiments privés Bâtiments publiques Communication personnelle Consommation personnelle Culture et loisir Emploi Matériel didactiques Mobilité et le transport Patrimoine Usage personnel	Amis Animaux domestiques Autorités Collègues et voisins Famille élargie Famille proche Personnes étrangères Professionnels de santé Soignants Subordonnés	Architecture et logement Associations et d'entraide Communication et medias Economie, éducation et emploi Zones de plein air Assistance à la vie de la ville Sécurité sociale Santé et services de première nécessité Transports

Tableau 36 – Quelques facteurs associés au contexte d'utilisation d'un PA par une PSH

Après cette identification, l'existence de relations entre ces produits et le PA en cours de conception doit être analysée. En effet, la force de cette relation peut être évaluée (faible, moyenne, forte, etc.) ainsi que son impact négatif ou positif sur l'utilisation de l'objet, autrement dit, ce qui le rend plus facile ou plus difficile à l'utiliser.

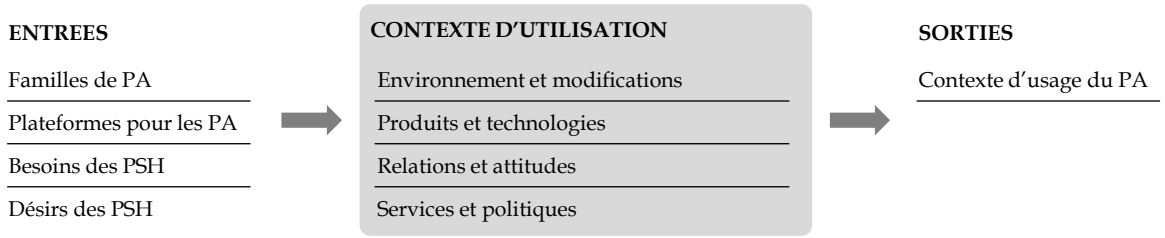


Figure 57 – Etape de Découverte : l'environnement d'utilisation

Du côté tangible du contexte d'utilisation, nous pouvons affirmer que l'utilisation d'un PA est largement impactée par l'**Environnement et les modifications**. Ainsi, dans cette partie nous sommes intéressés par les aspects naturels, comme le climat, le relief, les événements naturels, les modifications faites par l'homme et les impacts comme la pollution, les alternations climatiques ou les populations locales. Il faut remarquer que ces caractérisations doivent être observées comme l'impact des éléments environnementaux sur l'usage du PA en conception. Par exemple, un sol glissant en raison de la neige ou du verglas va demander les pointes métalliques sur l'embout d'une canne pour éviter la chute d'une personne âgée ; une région de relief accidenté va demander l'utilisation de leviers pour la propulsion des PSH en fauteuil roulant.

Ensuite, dans le côté intangible du contexte d'utilisation du PA, nous voyons l'importance d'identifier le **Relations et les attitudes** des autres personnes par rapport aux PSH. Tout d'abord, il est recommandé d'identifier des groupes présents dans la vie de ces personnes et qui peuvent leur fournir un soutien physique et émotionnel. Ensuite, il est nécessaire d'enquêter sur l'attitude de ces personnes par rapport aux PSH. Effectivement, les relations humaines ont un impact significatif sur l'usage des PA, comme l'encouragement ou la dissuasion de l'emploi du produit.

Finalement, il est également important de comprendre le statut des PSH dans la construction des **Services et politiques** dans un contexte. Cette analyse prend en compte quelques aspects comme la production de biens de consommation, l'architecture et la construction, la définition urbaine comme les logements, les zones de plein air, les services de première nécessité, les transports, l'éducation et emploi et des autres politiques et services sociaux. L'aspect central d'une telle étude est de vérifier si ces politiques et services considèrent les PSH comme des utilisateurs et/ou comme des usagers capables de participer à la prestation.

3.4.1.5 Considérations sur l'étape de Découverte

A travers les activités spécifiques réalisées tout au long de l'étape de Découverte, notamment la détermination des fonctions centrales du PA, l'identification des caractéristiques des utilisateurs, l'analyse des produits connexes et l'identification du contexte d'utilisation, les concepteurs doivent être capables de répondre aux questions suivantes :

- Qu'est-ce que le PA doit faire en termes de support aux PSH ?

- Qui est l'utilisateur de ce produit et quels sont ses besoins, désirs et attentes ?
- Qu'est-ce que le marché de produits connexes au PA peut nous enseigner ?
- Quelles sont les interférences de l'environnement sur l'usage du PA ?

Finalement, les sorties de cette étape doivent passer par les activités de transition comme présenté dans la Section 3.3.4, pour assurer le respect des principes de conception.

3.4.2 Étape II : La Définition

La deuxième étape de la méthode de conception de PA pour les PSH est celle de la **Définition**. Elle est responsable de la détermination les concepts alternatifs pour le PA, en prenant en compte la connaissance organisée de l'étape de Découverte. Pour cela, l'équipe de conception doit étudier les dimensions de la valeur pour les utilisateurs afin de créer une empathie avec eux. Un tel objectif peut être facilité à travers l'échange direct entre les personnes impliquées dans les deux étapes (Découverte et Définition). Ce partage peut se produire lors de la réalisation des activités de transition.

Pendant la réalisation de l'étape de Définition, les concepteurs prévoient le travail en parallèle sur différents concepts du PA. Ainsi, le nombre de variables à travailler peut devenir très grand, car chaque concept peut posséder plusieurs alternatives d'architecture, d'options pour la forme physique et ainsi de suite. Compte tenu d'une telle complexité, l'étape est divisée en activités spécifiques qui visent à faciliter son organisation, comme le montre la Figure 58.

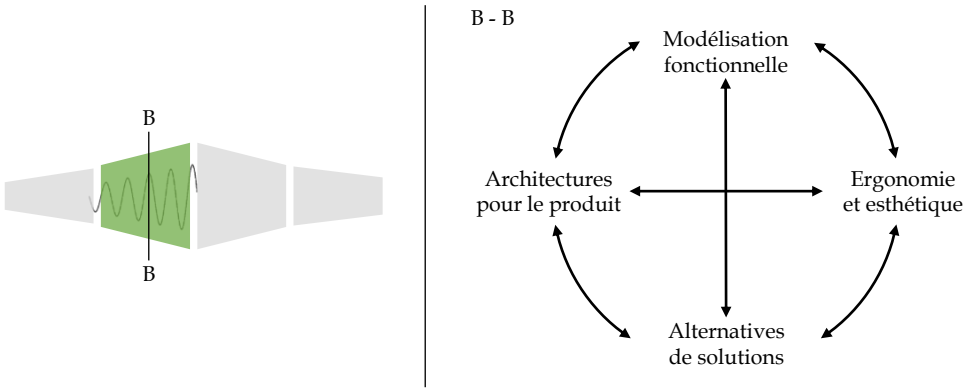


Figure 58 – Activités spécifiques de l'étape de Définition

L'étape peut commencer par la Modélisation fonctionnelle des aspects techniques du PA. Ensuite, les concepteurs se concentrent sur la définition des exigences des PSH en termes d'interaction avec le produit notamment son ergonomie et son esthétique. Puis, l'équipe de conception doit procéder à la recherche d'alternatives de solutions en prenant en compte simultanément les deux types d'exigences définis en amont. Finalement, la Définition se termine par la création d'alternatives de concept pour le PA, y compris l'architecture du produit.

3.4.2.1 *Modélisation fonctionnelle*

L'étape de **Définition** commence par une modélisation des fonctions techniques du PA. En effet, une fonction est ce qu'un élément d'un PA fait à partir d'une action de l'utilisateur ou de manière passive. La définition d'un modèle fonctionnel pour le PA nécessite quelques entrées, comme montré dans la Figure 59. Les concepteurs doivent notamment considérer les quelques résultats de la Découverte et des activités de transition entre les deux étapes

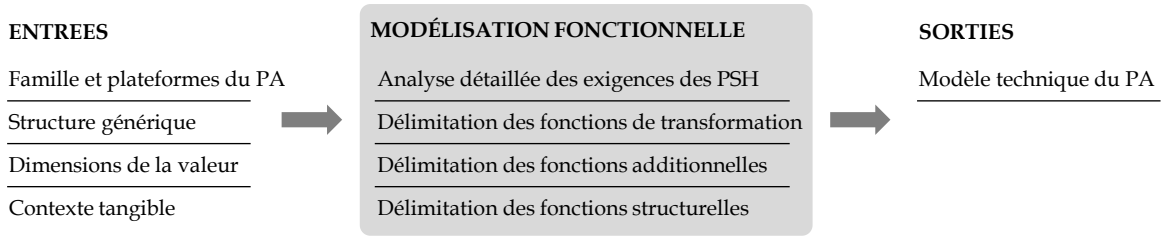


Figure 59 – Etape de Définition : la modélisation fonctionnelle

Ainsi, ils récupèrent les informations sur la famille du PA et ses plateformes, aussi bien que les propositions de Structures Transversales pour la plateforme. Ensuite, les concepteurs doivent analyser les possibilités d'amélioration identifiées dans les offres existantes et les dimensions de la valeur qui ont une nature plus objective. C'est le cas de l'essence du PA, de son utilité et de l'inclusion de la PSH. La considération de ces informations consiste dans la réalisation de la première tâche de cette activité, l'**Analyse détaillée des exigences des PSH (entrées)**.

La modélisation fonctionnelle doit être faite au niveau de la plateforme, qui est le niveau plus haut d'abstraction pour une variété de PA construits sur la même base technique. Pour cela, en ce qui concerne les systèmes techniques, les fonctions techniques constituent le « but du produit ». Ces fonctions sont divisées en fonctions de transformation, additionnelles et structurelles, comme expliqué ci-dessous :

- Fonctions de transformation – ce premier type de fonction concerne les raisons qui ont déclenché la conception, ou les fonctions livrées par le PA. Les concepteurs peuvent considérer la transformation de plusieurs types, comme celles réalisées sur l'utilisateur en situation de handicap, ou même les transformations d'énergie ou d'information réalisées par le produit lui-même ;
- Fonctions additionnelles – ce type de fonctions consiste dans un appui à l'exécution de la transformation, tels que l'alimentation électrique, le contrôle et le réglage, l'interface de communication, les éléments de manipulation, etc. Ainsi, les fonctions additionnelles sont très liées à l'interaction avec l'utilisateur ou d'autres entrées d'énergie ou d'information reçues par le PA à partir de l'extérieur ;
- Fonctions structurelles - ce dernier type de fonction technique est chargé d'assurer la stabilité et la solidité du PA, comme un contenant pour les fonctions de transformation et additionnelles. Ainsi, ces fonctions peuvent prendre plusieurs formes comme par exemple un châssis, un coffret, un boîtier ou

un autre agencement qui organise les autres fonctions. Des plus, la structure du PA a une forte influence sur l'interaction avec l'utilisateur, soit à partir de son esthétique, soit à partir de son adaptation ergonomique.

Quelques aspects ou détails de l'explication sur les fonctions techniques sont clarifiés à la Figure 60. Le côté droit de la figure présente les mécanismes internes : les dispositifs d'information et de contrôle du PA. Les fonctions de transformation, additionnelles et structurelles sont ainsi associées à cette représentation du produit.

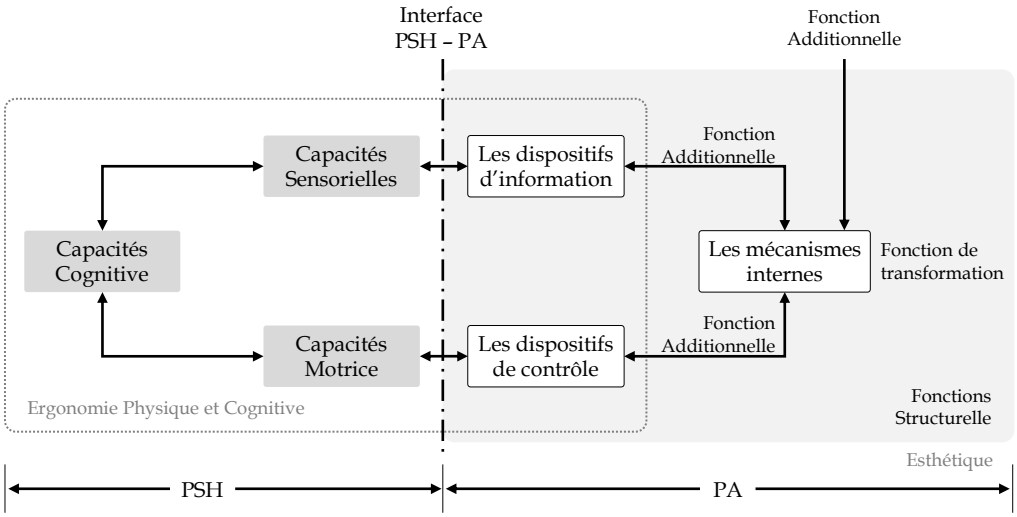


Figure 60 – Fonctions techniques et d'interaction : les PSH et leur PA

Finalement, le modèle fonctionnel du PA peut être juste une liste de fonctions organisées en catégories. En revanche, une représentation plus élaborée peut transmettre plus d'informations, comme une carte qui relie les fonctions entre elles dans une séquence logique de causes à effets, par exemple. La modélisation peut ainsi prévoir une relation entre les fonctions techniques et celles d'interface entre le PA et l'utilisateur. Ceci sera expliqué dans le paragraphe suivant.

3.4.2.2 Ergonomie et esthétique

Le modèle fonctionnel du PA en conception est complété par l'appréciation des aspects d'interaction entre le PA et la PSH, notamment les fonctions ergonomiques et esthétiques. Ainsi, lors de la génération des alternatives de solution, ces aspects doivent être pris en considération de manière concourante aux fonctions techniques. En effet, les fonctions ergonomiques améliorent l'utilisation du produit en termes physiologiques, en englobant les parties corporelle (sensorielle et motrice) et cognitive des utilisateurs, en couvrant la capacité mentale et de traitement de l'information. A son tour, les fonctions esthétiques sont plutôt liées aux caractéristiques artistiques du PA, à la beauté et à l'harmonie du bien. Les tâches recommandées pour la définition des fonctions d'ergonomie et d'esthétique d'un PA, avec les entrées nécessaires et les sorties souhaitées, sont montrées dans la Figure 61.

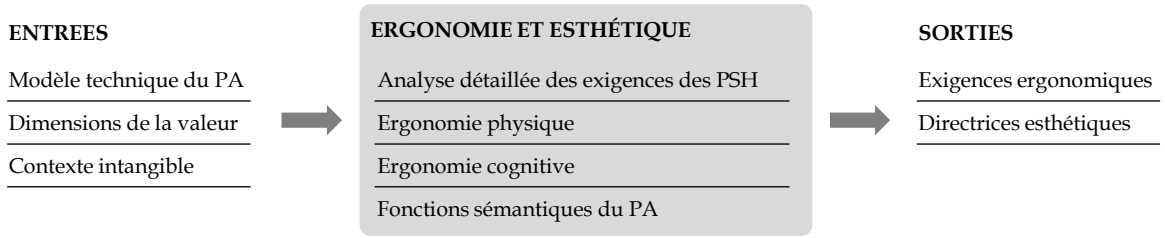


Figure 61 – Etape de Définition : ergonomie et esthétique

De la même manière que l'activité précédente, la définition de l'ergonomie et de l'esthétique du PA passe par l'**Analyse détaillée des exigences des PSH**, mais cette fois-ci, avec quelques particularités, dans l'ensemble d'entrées. Les dimensions de la valeur sont plus subjectives comme l'utilisabilité, l'esthétique et l'image de la PSH utilisant le PA. A son tour, les facteurs contextuels se concentrent sur les Services et les politiques et sur les relations et attitudes des personnes entourant la PSH. Finalement, le modèle de fonctions techniques du PA issu de l'activité précédente est le dernier groupe d'informations nécessaire pour la réflexion sur les exigences ergonomiques et les indications esthétiques du PA.

L'idée de modéliser le PA en termes techniques et interactifs avant la création d'alternatives de solutions a pour objectif d'arriver à une solution finale qui soit meilleure ou mieux intégrée. Ainsi, il n'est pas demandé aux concepteurs de résoudre un problème technique puis de créer une « coque » pour le PA, ou de créer une identité visuelle agréable après avoir rangé les fonctions techniques dans les « vides » disponibles. Le principe est de développer les deux aspects en parallèle.

Ensuite, l'activité avance vers l'identification des aspects d'**Ergonomie physique** nécessaires à l'utilisation du produit en conception. Dans ce contexte, le regard se tourne vers le côté physiologique de l'individu. D'abord, l'identification des facteurs anthropométriques est très importante pour pouvoir proposer des solutions d'un PA adéquate ou ajustable aux dimensions corporelles des utilisateurs. Ensuite, la manipulation du PA par la PSH nécessite des connaissances sur les capacités physiques de l'utilisateur, et de telles exigences impliquent un focus sur la biomécanique. Ainsi, pour assurer une bonne utilisabilité du PA, les concepteurs doivent identifier et lister les exigences physiques à considérer lors de la recherche des solutions. En revanche, l'utilisation du PA englobe aussi la compréhension de son fonctionnement, de ses éléments constitutifs, etc. Pour cette raison, l'**Ergonomie cognitive** doit être appliquée pour analyser les processus mentaux liés à l'usage du PA, à savoir : le traitement de l'information, la logique de la séquence d'utilisation, les modes de raisonnement et la perception sensorielle des signaux émis par le PA. Les concepteurs doivent évaluer si les charges mentales impliquées facilitent l'utilisation du produit ou si elles conduisent à des erreurs.

La dernière tâche est liée aux **Fonctions sémantiques** du PA, qui sont associées à l'Esthétique du produit. Ces fonctions sont chargées de l'explication de ce que le bien représente en termes de proposition du concepteur vers l'utilisateur. En effet, la sémantique d'un produit peut être divisée en quatre fonctions (Tableau 37) : décrire, exprimer, exhorter, identifier. En résumé, la forme du produit commu-

nique sa sémantique, tels que les fonctions, le mode d'emploi, comment réagir vis-à-vis du PA et aussi les valeurs embarquées.

Fonctions Sémantique	Signification
Décrire	Le but et le mode de fonctionnement
Exprimer	Les propriétés du produit
Exhorter	Comment réagir et comment manipuler le produit
Identifier	Le produit, son origine, le fabricant, son emplacement, sa nature et sa catégorie

Tableau 37 – Types de représentations sémantique [139]

Finalement, il semble important de retourner à l'analyse de la Figure 60 pour vérifier le positionnement des fonctions techniques et celles d'interaction avec le PA (ergonomiques et esthétiques). En possession d'un tel groupe d'exigences, les concepteurs passent à la création d'alternatives de solution.

3.4.2.3 Alternatives de solution

Après l'étude et l'analyse des dimensions de la valeur pour les PSH et des autres données issues de l'étape de Découverte, les concepteurs font la modélisation fonctionnelle et la définition des questions ergonomiques et esthétiques du PA. Ensuite, ils doivent chercher les alternatives de solutions au problème de conception. Evidemment, cette création ne s'initie pas qu'à partir de la fin des activités présentées précédemment ; les concepteurs commencent déjà à envisager des solutions pour le PA tout au long de la réalisation des études décrites précédemment. Toutefois, cette activité spécifique est focalisée sur la création, donc les techniques de stimulus à la créativité sont très importantes. En effet, les tâches recommandées pour la définition des alternatives de solution d'un PA, y compris ses entrées nécessaires et les sorties attendues sont indiquées la Figure 62.

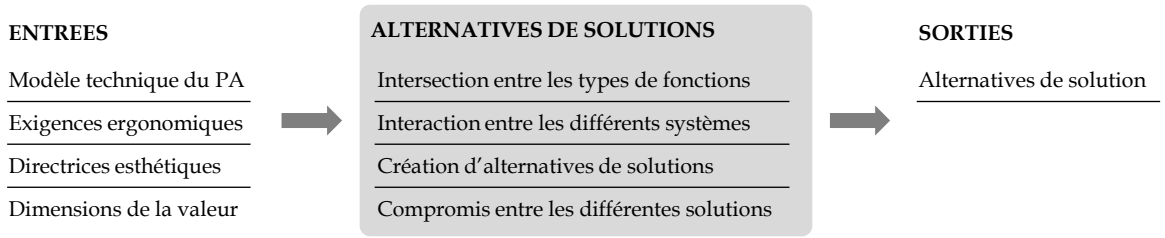


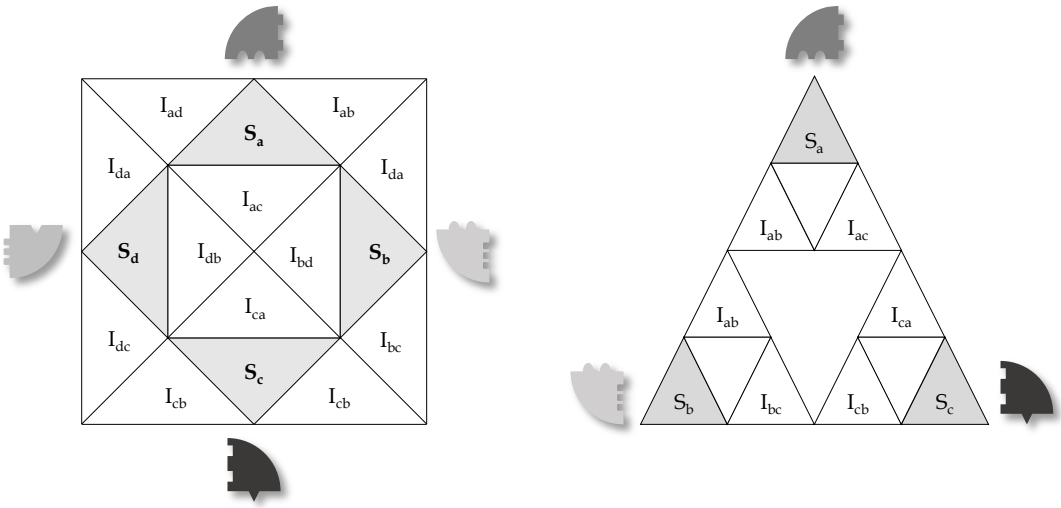
Figure 62 – Etape de Définition : alternatives de solution

Dans la Figure 62 nous avons parmi les entrées les deux perspectives de modélisation faites pendant les activités précédentes (technique et d'interaction avec le PA). L'objectif de cette double modélisation est de fusionner les questions esthétiques, d'interaction et techniques depuis le tout début de la conception, et ainsi de trouver des solutions qui intègrent mieux ces aspects qui doivent interagir dans un PA.

Pour cette raison, la première tâche de cette activité est l'identification des **Intersections entre les types de fonctions** définies. La Figure 60 décrit la relation entre ces fonctions, comme par exemple l'influence de la structure sur l'esthétique du PA. Les fonctions additionnelles sont aussi des fonctions qui permettent la transmission d'informations et le contrôle du produit vers l'utilisateur. L'efficacité de ces fonctions est dépendante de l'ergonomie. En effet, les dispositifs d'information sont plutôt sensibles aux capacités cognitives et sensorielles, tandis que le contrôle du PA a une proximité plus étroite avec les capacités motrices. Après avoir analysé les fonctions définies en amont et identifié les intersections entre elles, les concepteurs doivent les grouper selon leur similarité ou dépendances identifiés.

Ensuite, les attentions se tournent vers la Structure Transversale proposée lors de l'analyse de produits connexes (Figure 55, Section 3.4.1.3), de manière à l'évaluer et la faire évoluer. Ainsi, la tâche consiste à identifier les **Interactions entre les différents systèmes** présents dans une telle structure construite pour l'assemblage de tous les PA présents au sein d'une plateforme. Les concepteurs peuvent ainsi définir une structure avec un nombre adéquat de systèmes. Sur le côté gauche de la Figure 63, nous proposons l'exemple d'un PA comprenant quatre systèmes S_a, S_b, S_c et S_d.

Concrètement, la tâche consiste en la construction d'un diagramme ou d'un fractal d'interactions entre ces systèmes. Ainsi, le système S_a interagit (ou pas) avec les autres systèmes S_b, S_c et S_d. Les interactions existantes ou souhaitées entre chaque paire de systèmes (S_a et S_b par exemple) peuvent être répertoriées comme I_{ab} ou I_{ba}. L'interaction I_{ab} est focalisée sur les impacts de S_b sur S_a, tandis que I_{ba} est focalisée sur les impacts de S_a sur S_b. La même analyse est faite pour toutes les paires des systèmes.



(a) Interactions entre les systèmes, structures à quatre systèmes

(b) Interactions entre les systèmes, structures à trois systèmes

Figure 63 – Interaction entre les différents systèmes

La Figure 63 présente deux façons d'organiser les interactions entre les différents systèmes pour une structure à quatre systèmes (a) et pour une structure à trois systèmes (b). Pour finir cette tâche, les fonctions techniques et d'interaction définies en amont doivent être placées sur ce schéma. Ainsi, une représentation qui présente ces plusieurs relations peut servir de « feuille de route » permettant aux de naviguer entre les systèmes et fonctions du PA et ainsi proposer des solutions. Un tel archétype pour organiser les systèmes et les fonctions peut être organisé sur un logiciel qui permet d'afficher ou de cacher quelques éléments pour analyser le problème de conception progressivement. Toutefois, pour les PA plus complexes (comprenant cinq systèmes ou plus), un outil visuel ne serait pas un avantage et nous ne le considérons donc pas utile comme support à la conception.

La tâche suivante est la **Création d'alternatives de solutions** pour le PA, ou bien pour la plateforme de PA sur laquelle les concepteurs concentrent leurs travaux. Ici, les concepteurs vont créer ou juste exprimer les idées déjà réfléchies sur les alternatives de solutions pour les fonctions techniques et d'interaction avec le PA. En effet, les recommandations présentes dans le principe d'exploration concourante doivent être prises en considération.

Finalement, après avoir listé les possibilités en s'assurant que le problème a bien été exploité et que les options sont encore ouvertes, les concepteurs doivent analyser les **Compromis entre les différentes solutions** pour (1) créer des alternatives concourantes ; (2) vérifier la compatibilité entre les alternatives ; (3) vérifier l'impact des alternatives sur les processus en aval ; (4) vérifier la transversalité des solutions dans la plateforme ; et (5) assurer que les décisions entre différentes solutions soient poussées le plus tard possible. Les alternatives sont enfin formalisées dans la prochaine activité.

3.4.2.4 Architecture du produit

Enfin, la dernière activité de l'étape est la Définition de l'Architecture du PA, c'est-à-dire la proposition d'une organisation ou d'une disposition des éléments en ensembles physiques, y compris leurs positions relatives, leurs interfaces et leurs interactions. Dans le contexte de conception de PA sur une plateforme de produit, nous faisons le choix d'une architecture essentiellement modulaire est implicite. Dans un sens plus large, les ensembles ou modules peuvent aussi être considérés comme des produits parce que leurs fonctions ne sont pas systématiquement partagées avec les autres modules. De plus, les interactions entre les modules sont bien définis et stables. Dans l'architecture modulaire, il existe trois variables importantes, à savoir : (1) la Stabilité de la fonction affectée au composant ; (2) comment la configuration finale du produit est construite, (3) et la nature de l'interface entre les composants. Les tâches, les entrées et les sorties pour cette activité de Définition de l'Architecture du produit d'un PA sont fixées dans la Figure 64.

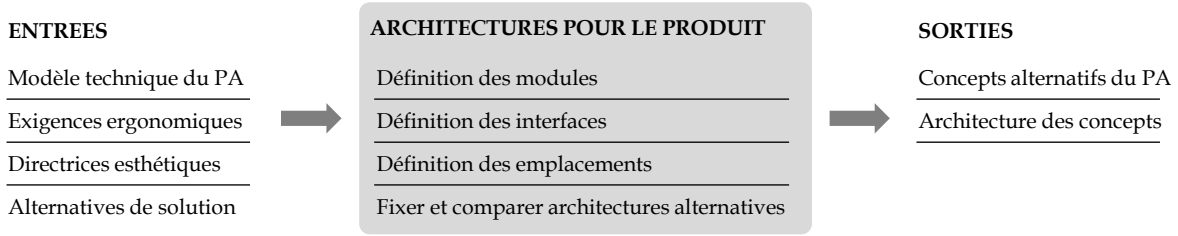


Figure 64 – Etape de Définition : architecture du produit

L'étape commence par la **Définition des modules** qui est faite à travers l'analyse de la structure transversale superposée avec les fonctions définies en amont. Dans cette méthode, nous proposons l'utilisation d'une modularité combinatoire vers une modularité arborescente, afin d'augmenter la variété de PA de manière contrôlée, comme montre la Figure 65 (deux types de modularité aux extrémités de l'axe de référence). En effet, le concept de modularité combinatoire a été présenté dans la Section 2.2.2.3. Dans ce cas, l'architecture des produits est pensée de manière flexible pour recevoir différents composants sans avoir un corps de base. De plus, les interfaces entre chaque paire de système sont différentes.

En revanche, nous proposons le concept de modularité arborescente, montré dans la partie droite de la Figure 65. Dans ce type de modularité, les Systèmes du PA sont encore plus flexibles, principalement parce qu'ils comportent des emplacements pour les systèmes du produit. Ces emplacements peuvent être remplis par des composants (ou modules) qui appartiennent plutôt, mais pas exclusivement, à un *type*, prévu pour le système. En effet, les exemples montrés sont les cas extrêmes d'un spectre proposé pour la modularité, et des possibilités intermédiaires entre ces deux situations sont évidemment possibles.

Par contre, pour que cette flexibilité puisse se produire, les interfaces entre les différentes paires de systèmes doivent être les mêmes, dès que possible. C'est tout naturellement que l'activité converge vers la tâche de **Définition des interfaces**. En ce qui concerne ces éléments de liaison entre les modules du PA, pour la proposition d'une plateforme qui garde un certain niveau de flexibilité, nous proposons l'utilisation d'interfaces standardisées entre toutes les paires de modules où cette utilisation est possible.

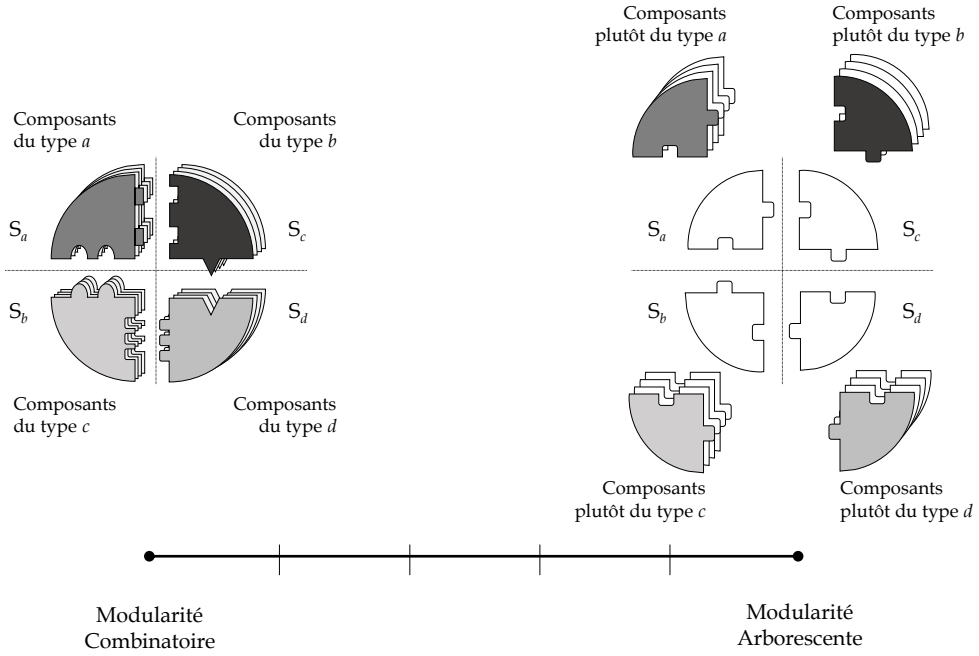


Figure 65 – Spectre de la modularité combinatoire vers la modularité arborescente

En effet, il est important d'analyser les besoins de proximité spatiale entre les modules et les échanges réalisés comme ceux d'information, d'énergie ou de matériaux. La tâche suivante, la dernière, est chargée de la **Définition des emplacements** relatifs entre les modules, en prévoyant les interfaces, les variantes du produit qui seront offertes aux usagers et leurs impacts dans l'architecture du PA.

3.4.2.5 Conclusions sur l'étape de Définition

A travers les activités spécifiques réalisées tout au long de l'étape de Définition, notamment la modélisation fonctionnelle, l'ergonomie et l'esthétique, la définition des alternatives de solutions et de l'architecture du PA, les concepteurs doivent être capables de répondre aux questions suivantes :

- Quel est le concept de base du produit et les valeurs cibles des attributs du produit ?
- Quelle sera l'architecture du produit et quelles variantes des produits seront offertes ?
- Quels composants des produits seront partagés parmi les variantes des produits ?
- Quels seront la forme physique et le design industriel du produit ?

Finalement, les sorties de cette étape doivent passer par les activités de transition, comme présenté dans la Section 3.3.4 pour assurer le respect des principes de conception.

3.4.3 Étape III : Le Développement

Après la définition de concepts alternatifs pour le PA le processus de conception atteint l'étape de Développement. A ce moment, l'équipe de conception développera les paramètres plus concrets et procédera à la convergence entre plusieurs options concourantes pour le PA. Ce contexte demande la

construction de prototypes fonctionnels, la réalisation de tests de performance du PA selon les dimensions de la valeur et l'évaluation de l'application du principe de standardisation des variables du produit. En effet, le Développement est la dernière étape où les paramètres du PA seront travaillés, car l'étape suivante est plutôt liée à la conception du système de fabrication et la distribution du produit. Les activités proposées pour cette étape sont présentées en Figure 66.

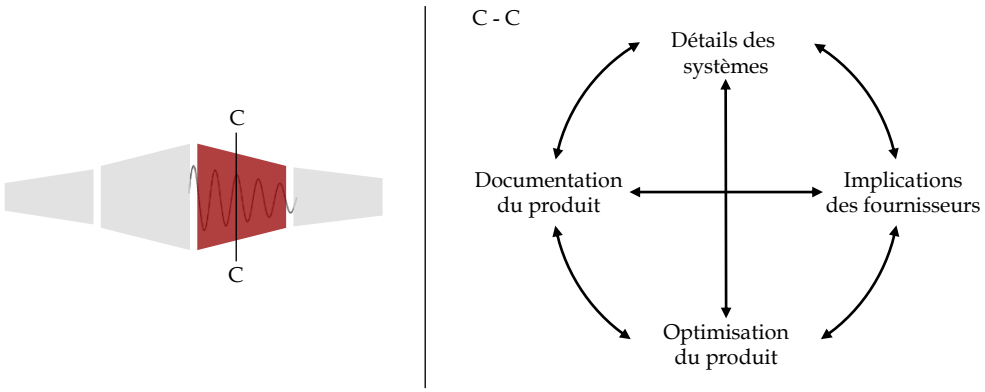


Figure 66 – Activités spécifiques de l'étape de Développement

Le développement s'initie par la conception des détails finaux des systèmes qui composent le PA. Une telle activité est étroitement liée à l'implication des fournisseurs, en permettant l'optimisation du produit à partir d'intégration des composants issus de plusieurs sources. Ensuite, l'évaluation du PA à partir de tests permet la finalisation de la conception et la documentation complète à travers le registre des informations, dans plusieurs documents qui décrivent les composants, les schémas de montage, etc. Les activités proposées pour l'étape de Développement sont présentées dans cette section.

3.4.3.1 Détails des Systèmes

La première activité de l'étape de Développement est la description des systèmes. Ici, l'équipe de conception crée les détails des systèmes qui composent le produit. Cela comprend les dimensions des pièces, les tolérances, les matériaux finaux, aussi bien que d'autres caractéristiques comme la résistance aux sollicitations mécaniques auxquelles le PA sera soumis dans son utilisation courante. En effet, cette tâche est profondément liée à la technologie du produit en cours de conception. En outre, le processus de conception des détails des systèmes doit être fait juste pour les composants qui seront fabriqués par l'entreprise. Les tâches prévues pour cette activité, y compris ses respectives entrées et sorties sont listées dans la Figure 67.

Tout d'abord, l'activité s'initie par l'**Analyse de concepts alternatifs** pour le PA. Cette tâche comprend l'étude des informations et des décisions (prises et à prendre). Ainsi, les concepteurs peuvent avancer sur la convergence entre les alternatives, y compris la vérification de points en commun entre elles. Ensuite, les concepteurs peuvent s'attaquer aux questions liées à la **Décision sur l'achat ou la fabrication de parties** du PA. Ces décisions sont étroitement liées aux compétences internes de l'entreprise,

notamment ses capacités pour concevoir, son domaine technologique et les caractéristiques du système de fabrication. En outre, l'importance d'un système donné (module, pièce, etc.) pour le PA en cours de conception et les types de relations développés avec les fournisseurs indiquent l'aspect stratégique de la décision. Plus le composant est important pour le PA, plus la tendance est à la fabrication en interne ou avec des fournisseurs considérés comme partenaires.

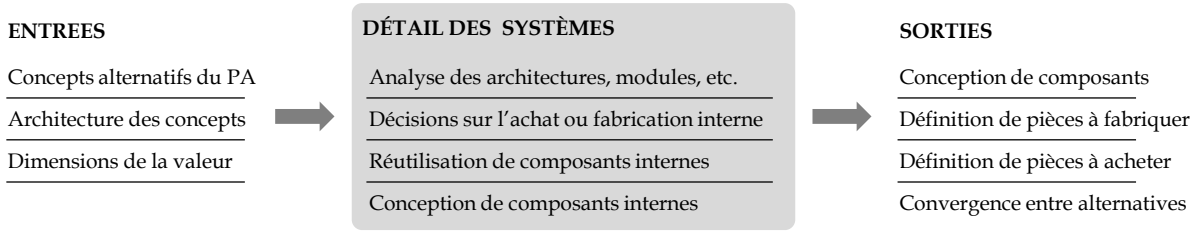


Figure 67 – Étape de Développement : les détails des systèmes

Simultanément à la tâche précédente, les concepteurs font l'analyse des alternatives pour décider de la **Réutilisation ou de la Conception** de parties. Une telle décision touche les composants propres ou achetés auprès d'un fournisseur. De manière à être capable de prendre ce type de décision, l'équipe de conception doit lister et classifier les composants des alternatives de solutions par rapport à leur importance dans la structure du PA. Cela veut dire différencier les parties qui sont centrales pour le fonctionnement ou pour la vente du PA de celles considérées comme ordinaires. Ensuite, l'équipe doit évaluer le compromis entre réutiliser un composant déjà éprouvé et présent dans un catalogue et les avantages potentiels d'une mise à jour technologique ou esthétique. En effet, les composants plus stratégiques pour le PA méritent un effort plus approfondi de conception. La Figure 68 présente la relation entre achat et fabrication et aussi entre réutilisation et conception des composants d'un PA en conception.

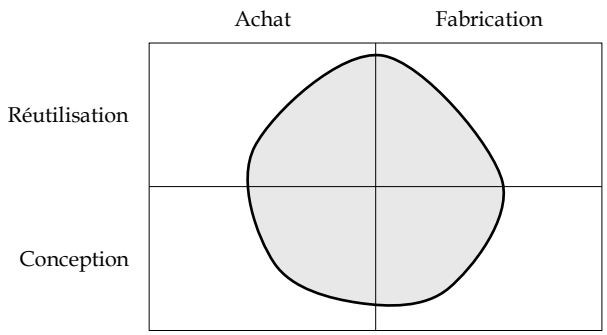


Figure 68 – Décision sur les détails de composants d'un PA

Finalement, les travaux de conception des détails des parties du PA doivent être concentrés juste sur ceux qui sont fabriqués en interne, c'est-à-dire sur la partie droite inférieure de la Figure 68. Ainsi, la création sera faite en suivant les expertises de l'entreprise et du réseau de fournisseurs. Le paragraphe prochain traite des particularités des parties fournies, soit celles conçues spécilement pour le PA, soit celles réutilisées à partir de catalogues.

3.4.3.2 *Implication des fournisseurs*

En parallèle à l'activité précédente, l'équipe de conception doit provoquer l'**Implication des Fournisseurs** dans la conception, puisqu'ils sont responsables de nombreuses parties de la composition et de la performance du PA. Ainsi, au plus tôt les fournisseurs sont impliqués dans le processus, meilleur sera l'apprentissage ils pourront apporter à la conception, et plus les pièces seront conçues selon les dimensions de la valeur et plus le PA sera « intégré ».

Dans les situations d'approvisionnement de composants centraux du produit, les fournisseurs effectuent souvent la conception de ses détails. En général, ces fournisseurs sont plus considérés comme des partenaires et ils contribuent avec leurs expertises à la conception du PA. D'autre part, les fournisseurs de composants ou de matières premières ordinaires sont sélectionnés en fonction de leur performance en termes de qualité et de fiabilité des pièces, pour leur efficacité dans les temps de livraison et pour une politique de prix considérée adaptée. Les entrées, les tâches et les sorties attendues pour cette activité sont présentées dans la Figure 69.

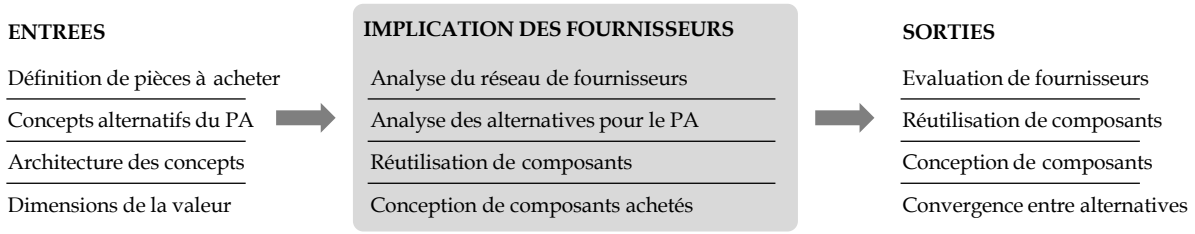


Figure 69 – Étape de Développement : l'Implication des fournisseurs

Initialement, l'entreprise doit **Analyser les alternatives pour le PA** en termes de structures pour identifier quelles parties seront fournies par les différents fournisseurs. Nous définissons que la structure générique du PA est composés des systèmes. Ensuite, nous pouvons élargir cette définition à partir d'une logique hiérarchique qui commence par le dispositif qui appartient à une plateforme et va jusqu'aux pièces, à savoir :

- Le dispositif – il est le PA qui appartient à une plateforme de produits. Il est composé de systèmes qui peuvent être des modules, des sous-assemblages et/ou des pièces. Normalement, le dispositif est le produit proposé par l'entreprise et acheté par la PSH ;
- Les modules – ils sont définis comme un type de système du PA qui est chargé de livrer une fonction du produit. Normalement les fonctions livrées par un module ne sont pas partagées avec des autres parties du produit. Du point de vue physique, les modules sont composés par des sous-assemblages et/ou des pièces isolées ;
- Les sous-assemblages – ils sont considérés comme un système du PA qui assemble différentes pièces mais qui ne livre pas fonction. Leur définition, dans les structures des modules ou des dispositifs, est utile pour les opérations d'assemblage : les groupes de pièces qui sont toujours montées en-

semble peuvent déjà être prévues et assemblées en avance. Alternativement, les sous-assemblages peuvent être utiles comme définition des unités d'achat vis-à-vis d'un fournisseur ;

- Les pièces – elles sont les unités indivisibles qui composent les systèmes d'un PA. Elles peuvent être attachées aux sous-assemblages, aux modules ou directement au dispositif.

Compte tenu cette division proposée, les concepteurs doivent identifier si les parties achetées aux fournisseurs sont des modules, des sous-assemblages ou des pièces. De plus, il est aussi important d'identifier quel est le niveau d'insertion du système acheté. Par exemple, une pièce pourra entrer dans la composition du PA dans les niveaux des sous-assemblages, des modules ou directement dans la structure finale du produit. Les sous-assemblages peuvent également entrer directement dans les modules ou directement dans la structure, et ainsi de suite. Cette analyse est illustrée dans la Figure 70.

A partir de l'analyse précédente, les concepteurs sont capables de faire une évaluation de l'importance des systèmes achetés par rapport au fonctionnement du PA final. Ainsi, ils peuvent faire une **Analyse du réseau de fournisseurs** pour trouver les fournisseurs adéquats pour chaque système selon son importance et la relation développé avec chaque fournisseur.

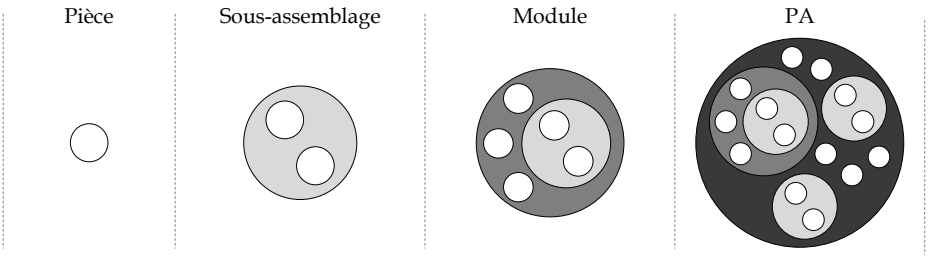


Figure 70 – Niveaux hiérarchiques des systèmes

L'entreprise va chercher des fournisseurs pour les composants soit à réutiliser, soit à concevoir à partir de zéro. En effet, la **Réutilisation de composants** est importante parce qu'elle accélère le processus de conception. Ainsi, les concepteurs doivent tester des échantillons de pièces, sous-assemblages ou modules pour la composition du produit en conception. Dès qu'un composant existant peut être récupéré, des contrats avec les fournisseurs peuvent être envisagés.

Finalement, l'entreprise et ses concepteurs doivent accompagner les travaux de **Conception de composants achetés** pour assurer leur bonne intégration aux PA de la plateforme. La recommandation est de réaliser quelques réunions techniques avec les fournisseurs clés de façon à permettre les échanges d'information et la bonne compréhension sur les dimensions de la valeur, sur l'exploration concourante de solutions (même en dehors de l'entreprise) et sur la standardisation des composants de manière à permettre l'interchangeabilité de pièces entres les versions des produits de la plateforme de PA.

3.4.3.3 *L'optimisation du produit*

L'activité suivante de l'étape de Développement est l'optimisation du produit. Elle comprend le test et la validation des caractéristiques du produit grâce à des prototypes fonctionnels. En fait, le prototypage peut confirmer la conception ou provoquer des changements dans les descriptions des systèmes, soit ceux fabriqués par l'entreprise ou ceux achetés auprès des fournisseurs. Les tâches prévues pour l'activité d'optimisation sont listées dans la Figure 71, avec les respectives entrées et sorties.

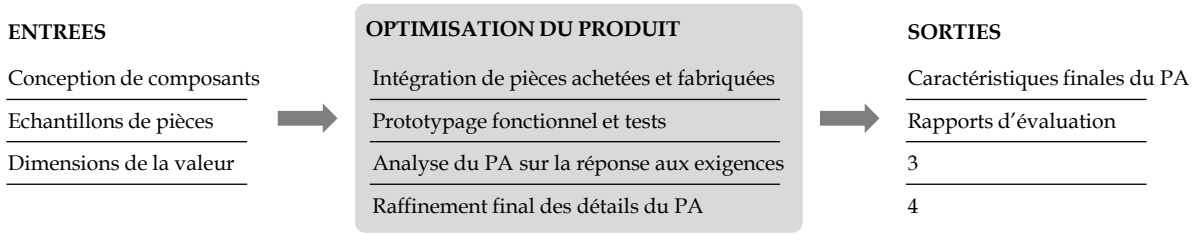


Figure 71 – Étape de développement : l'optimisation du produit

Initialement les concepteurs font la vérification d'**Intégration de pièces achetées et fabriquées** à travers des réunions techniques avec les fournisseurs clés qui permettent les échanges d'informations. A ce moment du processus de conception, l'identification d'incompatibilités entre des parties serait un grand problème pour l'avancement du projet. Ainsi, ces séances doivent exister dès que les fournisseurs sont impliqués dans la conception du PA. Les projets peuvent garder une complexité énorme comme une vaste gamme de parties réutilisées ou fraîchement conçues, achetées ou fabriquées en interne. En outre, les parties peuvent être des matériels, des logiciels ou être constituées de différentes technologies comme mécanique ou électronique. En effet, à la fin de cette tâche, les concepteurs devraient être capables de réaliser le **Prototypage fonctionnel et les tests du PA**.

La construction de prototypes est une recommandation pour tout le processus de convergence entre les différentes alternatives pour le PA. Ainsi, le prototype auquel nous faisons référence ici est une version définitive ou au moins très avancée du produit qui permet l'**Analyse du PA par rapport à la réponse aux exigences** définies. Ces vérifications de projet sont faites selon trois groupes d'exigences : (1) si les dimensions de la valeur pour l'utilisateur sont satisfaites ; (2) si les exigences légales ou normatives sont respectées (dans le cas où elles existent) ; (3) et si les caractéristiques définies pour le produit respectent les contraintes concernant les systèmes de fabrication. Finalement, les résultats du prototypage, de l'évaluation et des tests doivent permettre le **Raffinement final des détails du PA** pour la réalisation de la prochaine activité de documentation de tous les aspects du PA.

3.4.3.4 *Documentation du produit*

Enfin, cette étape se termine par les tâches de documentation du produit. Il comprend des informations détaillées pour communiquer les caractéristiques du produit aux processus en aval (tels que la fabrication du produit, sa vente et sa distribution), aussi bien que sa certification, ou même les docu-

ments pour les autorités chargées de la protection intellectuelle, dans le cas où les dépôts de brevets sont identifiés comme nécessaires. Ces documents peuvent comprendre la description de la plate-forme, des systèmes, des sous-systèmes et des composants du produit et de ses variantes, les schémas d'assemblage ou des manuels d'instruction. Les activités de conception de produits peuvent être considérées comme terminées. Les tâches prévues pour l'activité de Documentation du produit sont listées dans la Figure 72, comme toujours avec les entrées dont les concepteurs ont besoin et sorties attendues.

Figure 72 – Étape de Développement : documentation du produit

Nous trouvons qu'il n'est pas nécessaire détailler ou faire des recommandations spécifiques sur l'activité de documentation du produit, sauf pour indiquer que les dossiers pour la fabrication et l'assemblage, pour les fournisseurs, pour certification et brevets et ceux pour les utilisateurs peuvent utiliser plusieurs ressources technologiques possibles telles que des vidéos, des schémas virtuels ou même les prototypes eux-mêmes. Enfin, après cette activité, le processus de conception devrait passer par les activités de transition entre les étapes de conception avant d'entrer dans l'étape de Distribution.

3.4.3.5 Conclusions sur l'étape de Développement

A travers les activités spécifiques réalisées tout au long de l'étape de Développement, spécialement la conception des détails des systèmes, avec l'implication des fournisseurs, l'optimisation du PA et sa documentation finale, les concepteurs doivent être capables de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les valeurs des paramètres clés du produit ?
- Quelle est la configuration des composants et les relations de priorité d'assemblage ?
- Quelle est la conception détaillée des composants (matériel, dimensions, formats et procédés de fabrication, etc.) ?

Finalement, les sorties de cette étape doivent passer par les activités de transition comme présenté dans la Section 3.3.4 pour assurer le respect des principes de conception.

3.4.4 Étape IV : La Distribution

La dernière étape du modèle de conception est la Distribution. Les concepteurs impliqués dans cette étape sont plutôt des ingénieurs de processus ou de systèmes de fabrication et de distribution de produits. Ainsi, ils sont les responsables directs de l'interface entre l'entreprise et les utilisateurs, notamment les PSH et leur entourage. Dans cette étape, l'entreprise doit définir ou confirmer le niveau d'influence des utilisateurs en termes de possibilités de personnalisation des PA. En outre, elle doit mettre en place des canaux de communication avec les PSH de manière à assurer la surveillance de leur satisfaction. Ces moyens permettent aussi l'élicitation des informations qui sert de source à la définition de la valeur pour les processus de conception suivants. La Figure 73 liste les activités de l'étape.

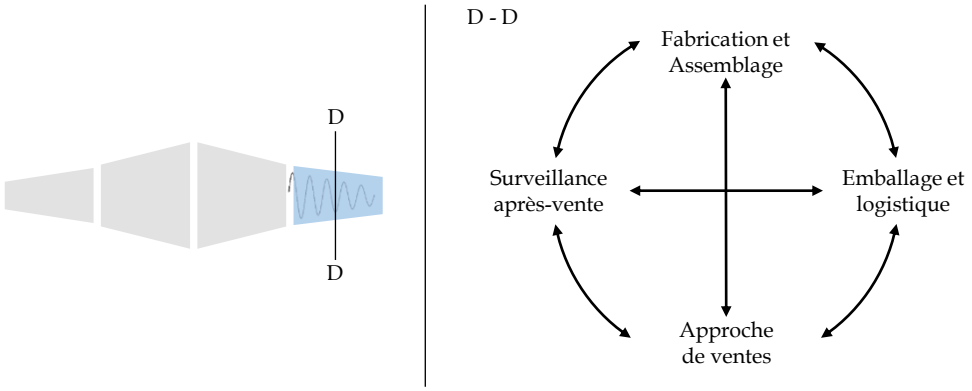


Figure 73 – Activités spécifiques de l'étape de Distribution

L'étape de Distribution est chargée de travailler sur les processus de fabrication et d'assemblage, d'emballage et de logistique, sur l'approche de ventes et finalement sur la surveillance de l'utilisation du PA en après-vente. Ces activités avec leurs tâches associées seront présentées tout au long de cette section.

3.4.4.1 Fabrication et assemblage

Avant que le processus de conception du PA se termine, les concepteurs doivent tourner leurs regards vers les processus d'approvisionnement du produit. Nous avons déjà initié cette discussion lors de l'analyse de l'implication des fournisseurs pendant la conception du PA. A cette étape, l'analyse est focalisée en direction de la fourniture du produit. Tout d'abord, le focus se fera sur la fabrication et l'assemblage du PA. En effet, nous avons concentré notre contribution sur le processus de conception de PA pour les PSH dans l'harmonisation entre le volume de production et la variété de produits offerte aux utilisateurs. Ainsi, lors de la réalisation de propositions pour la conception des PA, les approches de Conception *Lean* et de Customisation de Masse ont été utilisées. La même suggestion est conservée pour cette activité, spécialement dans les cas où les concepteurs, et par conséquent l'entreprise, souhaitent offrir aux PSH la possibilité de personnaliser les produits. Pour réaliser cela,

nous listons les tâches organisées avec les entrées nécessaires et les sorties souhaitées, comme le montre la Figure 74. Il est important de remarquer que ce paragraphe se limite à quelques aspects sur la variabilité du système de fabrication et d'assemblage

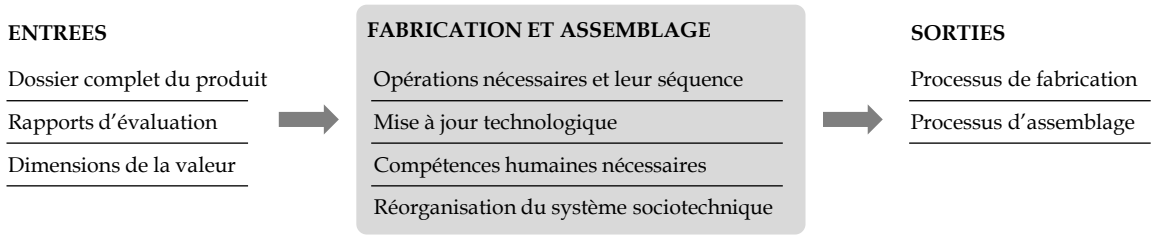


Figure 74 – Etape de Distribution : assemblage et fabrication

Comme nous avons déjà discuté dans la Section 2.1.3, dans la plupart des cas, les produits sont introduits sur des installations existantes. Ainsi, la nécessité est de comprendre comment une entreprise doit introduire le nouveau PA de manière à profiter de telles installations, de la même façon que les concepteurs ont eux aussi essayé de réutiliser les composants déjà employés par la société (soit ceux fabriqués en interne, soit ceux achetés chez un fournisseur). De plus, dans cette activité, il est aussi possible d'identifier les points communs entre le processus de fabrication et d'assemblage du nouveau PA et ceux des autres produits offerts par l'entreprise. Il est également possible de réfléchir à quelques améliorations du processus pour l'ensemble des produits.

Ainsi, la première tâche de l'activité est d'identifier les **Opérations nécessaires et leur séquence**, pour que cette analyse permette de déterminer comment le PA sera fabriqué et assemblé (Figure 75). P Pour cela, l'analyse peut se produire selon deux points de vue : le niveau et les types d'impacts du nouveau PA sur les processus existants. Premièrement, l'ampleur de l'impact peut se faire juste au niveau des opérations de Fabrication (F) ou d'Assemblage (A), ou aller plus loin vers les Secteurs, Départements, Lignes d'assemblage ou même au niveau d'une Usine complètement dédiée à la fabrication du nouveau PA. Les types d'impacts sur le système sont l'objectif des prochaines activités.

A partir de l'identification du processus nécessaire à la fabrication et à l'assemblage du nouveau PA, l'entreprise doit réaliser une **Mise à jour technologique** du système de fabrication (dans les cas où cela se montre nécessaire). L'intention est d'identifier les besoins en machines, équipements, logiciels et autres outils technologiques nécessaires. En général, les ingénieurs peuvent concentrer leurs recherches sur les technologies plus flexibles, permettant ainsi la fabrication et l'assemblage d'une variété plus importante de produits. Une telle initiative demande souvent beaucoup de temps pour l'analyse de la situation, la vérification d'options, la prise de décision et la mise en place des moyens choisis. Donc, l'ingénierie concourante doit être l'approche qui permette de prendre en charge ce sujet au plus tôt.

Il n'y a pas uniquement l'aspect technologique à prendre en compte lors de l'introduction d'un nouveau PA dans le processus de fabrication et d'assemblage. En effet, il est aussi important de définir les

Compétences humaines nécessaires pour ces processus. Il est nécessaire de préparer les opérateurs à l'utilisation des nouvelles technologies, à apprendre des nouvelles opérations, des méthodes de travail, etc. Ainsi, cette tâche est très liée à la formation et à l'embauche des personnes.

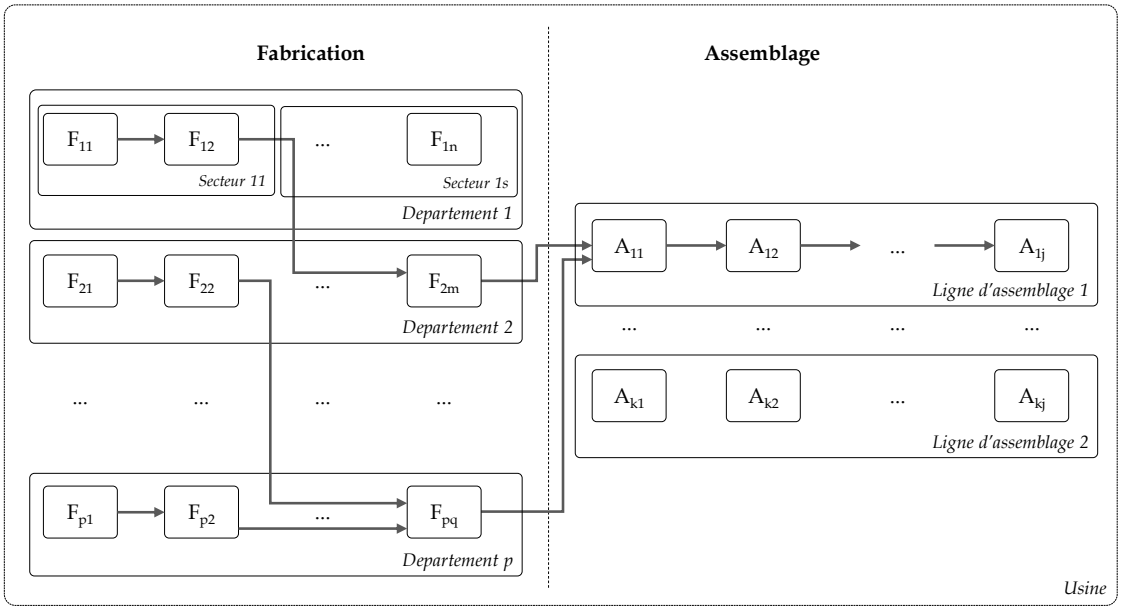


Figure 75 – Séquence de fabrication et assemblage d'un PA

Finalement, l'entreprise doit faire la **Réorganisation du système sociotechnique** pour l'introduction du nouveau PA sur le site de production. Cela implique d'identifier des personnes compétentes pour effectuer une variété d'opérations, de l'organisation physique des ressources dans l'espace de fabrication et d'assemblage et d'autres aspects qui doivent être considérés pour répondre aux PSH selon leurs commandes. Suite à cette installation, les ingénieurs peuvent procéder aux tests du système à travers la fabrication et l'assemblage de lots pilotes et la réalisation de la finition de tous les détails.

3.4.4.2 Emballage et logistique

Suite à la définition des processus de fabrication et d'assemblage du PA, l'entreprise focalise son attention sur les processus d'emballage et sur la logistique du produit. Notre focus ici sera de nouveau lié principalement à la création d'une variété d'offres pour les PSH. Ainsi, de la même manière que pour les autres activités du modèle, les tâches prévues pour la conception du processus d'emballage et de la logistique sont listées dans la Figure 76, avec ses entrées et ses sorties.

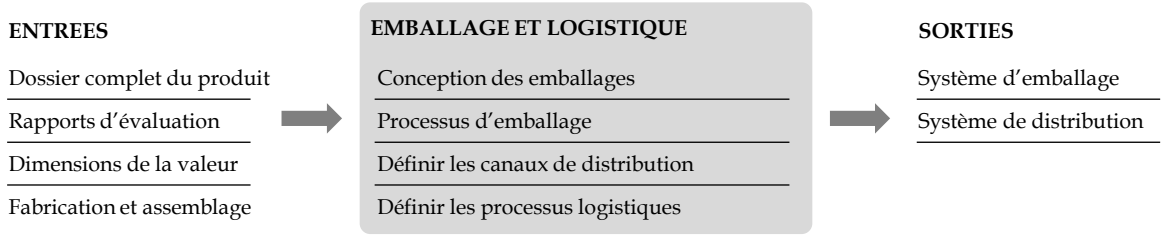


Figure 76 – Etape de Distribution : emballage et distribution

Les premières activités de cette étape sont la **Conception des emballages** et du **Processus d'emballage** du PA. L'emballage d'un produit englobe des questions comme le type de produit, les matériaux, le transport, le temps de conservation du produit avant sa consommation, etc. Des spécialistes sont consultés pour contribuer lors de cette activité. Dans le cadre de notre travail sur les PA, l'intérêt est plutôt lié à l'endroit où l'emballage se produit et aux variétés de l'offre qui peuvent être proposées. Ainsi, la Figure 77 montre les possibles emplacements du processus d'emballage et l'enrichissement de l'offre de PA.

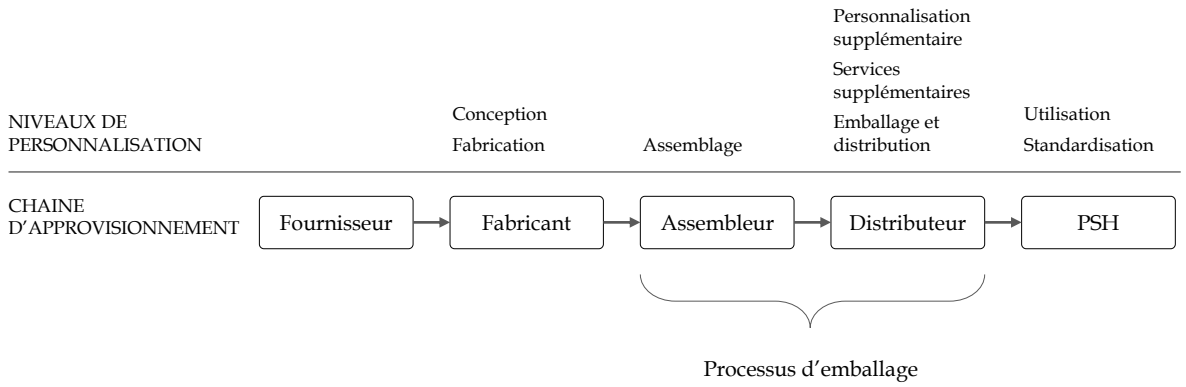


Figure 77 – Le processus d'emballage et l'enrichissement de l'offre de PA

En observant la chaîne d'approvisionnement sur la Figure 77, à partir du binôme « assemblage et distribution » des PA, nous vérifions que l'emplacement du processus d'emballage peut être une façon d'enrichir l'offre pour les PSH, notamment au niveau des Distributeurs. En effet, les lieux de distribution peuvent être considérés comme un endroit de stockage intermédiaire, mais ils peuvent être également des endroits dans lesquels les différentes commandes sont emballées en paquets personnalisés ou des locaux de vente dans lesquels une personnalisation supplémentaire ou un service supplémentaire sur le PA peut être offert.

Finalement, la dernière partie de l'activité est liée au transport des marchandises entre les différents points de la chaîne d'approvisionnement. Dans ce cadre, il est nécessaire de définir les **canaux de distribution** et **les processus logistiques**, autrement dit, les entreprises impliquées dans les nœuds de la chaîne. En outre, les types de déplacements réalisés par les PA, le volume transporté, les intervalles entre les déplacements, etc. sont des variables sur lesquelles des décisions doivent être prises.

3.4.4.3 Approche de ventes

L'activité suivante de l'étape de Distribution est la définition du processus de vente du PA. Une attention spéciale doit être donnée au processus de personnalisation du produit lors de la vente, soit à travers des ventes présentielles dans un magasin, soit par une vente dans les environnements virtuels en ligne. L'utilisateur et son entourage doivent être capables de configurer ou d'ajuster les produits aux

besoins et désirs de la PSH et pour cela, cette activité doit être faite soigneusement. La Figure 78 liste les tâches suggérées pour l'activité, avec ses entrées et ses sorties.

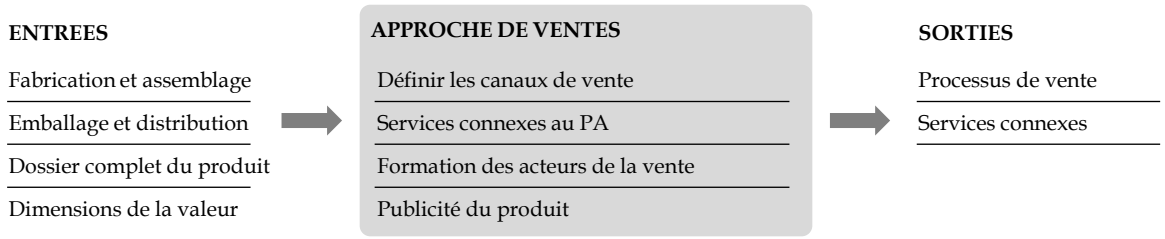


Figure 78 – Etape de Distribution : approche de ventes

La définition d'un type de vente (directe ou indirecte, présentielle ou en ligne) traite de la **Définition des canaux de vente** du PA. L'entreprise doit identifier la meilleure stratégie de vente dans le cadre du PA en question. Ensuite, la société doit prévoir les **Services connexes au PA** en conception, y compris les ressources essentielles pour leur mise en place et la manière dont les PSH font appel à de tels services. Dans ce contexte, quelques exemples de services associés à la vente et qui doivent être prévus peuvent être les ajustements du PA lors de la vente, l'assemblage de quelques composants qui ajoutent des fonctionnalités ou personnalisent le PA (du point de vue du style) ou encore le processus de maintenance du PA (de prévention ou suite à une défaillance). Nous pouvons lister aussi d'autres services possibles comme la possibilité d'essais pour les utilisateurs, l'entrainement à l'utilisation ou l'installation du PA.

La mise en place des services des canaux de vente et des services connexes à la vente du PA dépend de la **Formation des acteurs de la vente**. Il ne faut pas juste connaitre le PA et ses variétés, ses fonctions, les termes juridiques associés aux garanties de qualité, etc. La préparation des acteurs de la vente consiste aussi à préparer une approche humanisée de traitement des PSH, à assurer que chaque personne soit bien comprise et accompagnée dans sa démarche d'acquisition d'un PA et que le PA réponde au profil de l'utilisateur.

Finalement, la proposition du PA conçu sera connue par les utilisateurs, dans la majeure partie des cas, qu'au moment de la **Publicité sur le produit**. Dans le cadre du handicap, la publicité a quelques caractéristiques particulières soit au niveau du contenu des spots publicitaires, soit par rapport aux moyens employés pour la communication. Les précisions détaillées des capacités du produit en termes d'assistance à l'utilisateur sont très importantes pour ne pas provoquer des frustrations des PSH. Enfin, les aspects qui peuvent fournir un sentiment de sécurité chez la PSH doivent être mis en relief. C'est le cas des activités de surveillance en après-vente, que nous allons traiter dans le paragraphe suivant.

3.4.4.4 *Surveillance après-vente*

La dernière activité de l'étape de Distribution se concentre sur la conception d'un processus d'accompagnement de la satisfaction des PSH et de leur entourage, vis-à-vis du PA en utilisation. Ce processus est vital dans le cadre du handicap, parce que les besoins peuvent évoluer au cours de l'utilisation. Ainsi, des mises à jour du PA peuvent être nécessaires. En outre, suivre des utilisateurs permet l'identification des dimensions de la valeur pour les prochaines initiatives de conception. En effet, l'analyse de l'utilisation d'un PA en situation réelle générera des connaissances importantes notamment sur la sensibilité des PSH. Elles serviront à l'amélioration des produits offerts ou à l'identification d'opportunités de conception pour de futurs produits. La Figure 79 présente les entrées nécessaires pour le déroulement de l'activité, aussi bien que les tâches proposées et les sorties désirées.

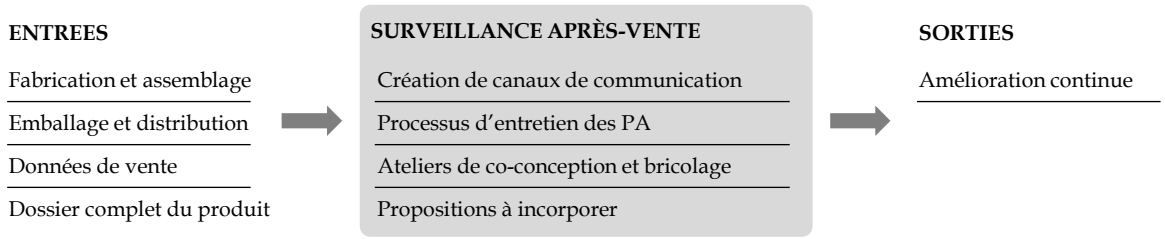


Figure 79 – Etape de Distribution : surveillance après-vente

Tout d'abord, la **création de canaux de communication** avec les utilisateurs est nécessaire. Si l'achat du produit englobe un configurateur qui permet la customisation de masse du PA, celui-ci peut être un bon outil pour l'accumulation d'informations sur les préférences des utilisateurs. De plus, les canaux de ventes doivent aussi être un bon moyen de réunir des informations directement avec les PSH, leur entourage, les vendeurs, etc. Par exemple, l'entreprise doit prévoir l'existence d'un **processus pour l'entretien** des PA vendus (maintenance). L'extension d'un tel processus sera plus ou moins importante en raison de la nature du produit en question. En effet, l'entretien des produits est aussi une source d'information sur les points forts et faibles du PA, en apportant aussi des informations utiles à la conception.

En outre, l'entreprise peut aussi proposer d'autres initiatives pour être plus proche des PSH et pouvoir mieux comprendre leurs besoins. Dans ce cadre, des **ateliers de co-conception et bricolage** peuvent aussi être proposés, de manière à réaliser des petites réparations ou adaptations sur les PA. Dans certains cas, il est possible de faire de la personnalisation du produit à partir d'une nouvelle conception de quelques parties ou modules. La mise en œuvre de ce processus à partir d'une approche collaborative semble apporter beaucoup d'avantages à la performance du produit et aussi à des retro-alimentations dans le processus de conception, de façon à ce que les éléments personnalisés puissent devenir des composants ordinaires dans le futur. Dans quelques cas, la co-conception de quelques modules pourra apporter des solutions ou **Propositions à incorporer** dans les alternatives offertes à

tous les utilisateurs. Enfin, d'autres alternatives peuvent évidemment être pensées pour réunir des informations liées à d'autres dimensions de la valeur des PA pour les PSH.

3.4.4.5 Conclusions sur l'étape de Distribution

A travers les activités spécifiques réalisées tout au long de l'étape de Distribution, notamment la conception des processus de Fabrication et d'Assemblage, l'Emballage et la distribution, l'Approche des ventes et la Surveillance de l'après-vente, les concepteurs doivent être capables de répondre :

- Comment seront faits la fabrication et l'assemblage du produit ?
- Comment le processus d'emballage et de distribution du produit sera réalisé ?
- Quels sont les canaux de vente et comment le produit sera vendu aux utilisateurs ?
- Quelles sont les aspects qui causent des (in)satisfactions chez le PSH pendant l'utilisation du PA ?

Les sorties de cette étape doivent passer par les activités de transition comme présenté dans la Section 3.3.4 pour assurer le respect des principes de conception.

3.5 CONCLUSIONS SUR LE MODELE DE CONCEPTION DE PA

Le modèle de conception pour la conception de PA qui vient d'être présenté est composé d'une structure multi-niveaux qui comprend les principes et la méthode de conception. Cette dernière est composée d'étapes et d'activités spécifiques de conception et d'activités de transition entre les étapes. La méthode possède également une stratégie pour le déroulement des étapes de conception.

Nous avons défini trois principes pour ce modèle : le Processus centré sur la valeur pour l'usager ; l'Exploration concourante de solutions alternatives ; et la Standardisation du processus et du produit. Les étapes et ses activités spécifiques sont résumées dans le Tableau 38. Les étapes sont présentées de manière séquentielle et quelques activités de transition sont prévues à leur interface : Documentation et communication des résultats de l'Etape i ; Evaluation des résultats de la conception et du déroulement des activités de l'Etape i ; Documentation des leçons apprises lors de l'évaluation de l'Etape i ; Etude des documents sur les résultats et évaluations faites sur l'Etape i et Planification de l'Etape i+1.

Étape	Activités spécifiques
Découverte	Détermination de fonctions
	Caractérisation des utilisateurs
	Analyse de produits connexes
	Contexte d'utilisation
Définition	Modélisation fonctionnelle
	Ergonomie et esthétique
	Alternatives de solutions
	Architectures pour le produit

Développement	Détail des systèmes
	Implications des fournisseurs
	Optimisation du produit
	Documentation du produit
Distribution	Fabrication et assemblage
	Emballage et logistique
	Approche de ventes
	Surveillance après-vente

Tableau 38 – Résume des étapes et ses activités spécifiques

Le processus de conception proposé est focalisé sur la satisfaction des PSH à utiliser un PA pour la réalisation d'une activité ou pour la participation sociale dans un contexte donné. Les produits doivent aussi être conçus et fabriqués en prenant en considération les besoins de pérennité de l'entreprise qui les propose aux utilisateurs. Ainsi, nous avons introduit quelques éléments de la Conception *Lean* et de la Customisation de Masse dans le cadre de la conception de PA. Finalement, nous avons aussi démontré une connexion entre les approches de conception de produits dits universels et ceux conçus directement pour le handicap. Ainsi, des bénéfices de chacune de ses approches permettent une nouvelle ouverture du regard sur le problème de conception.

4 LES CAS D'ETUDE

Ce chapitre présente les cas d'étude par lesquels le modèle de conception des PA pour les PSH a été construit et expérimenté. Il s'agit de deux initiatives de conception de produits axés sur la mobilité personnelle. Le premier cas d'étude se concentre sur la conception de **Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM)**, tels que les cannes, les béquilles et les cadres de marche. Cette expérience a permis l'application de quelques idées initiales de la manière de conduire la conception des PA et aussi d'identifier les points à améliorer lors de la proposition. Ensuite, le deuxième cas d'étude s'est concentré sur la conception de **Véhicules non-motorisés (VNM)**, comme les cycles et les fauteuils roulants. Cette initiative a été utile pour la validation de la proposition et pour affiner des premières étapes prévues pour le processus de conception.

Ce chapitre comporte trois parties. La première section présente le processus de définition des familles de PA utilisées dans chaque cas d'étude. Cela a été fait à partir du regroupement de sous-classes de PA pour la mobilité personnelle présentes dans la classification de la norme ISO 9999, à partir de quelques critères de similarité. Cette section présente aussi quelques paramètres utilisés lors de la planification et l'exécution de chaque cas d'étude. Ce chapitre comporte ensuite deux sections qui présentent chacune un cas d'étude et ses conclusions.

4.1 LES FAMILLES DE PA POUR LA MOBILITE PERSONNELLE

Il a été très difficile de déterminer les cas d'étude, notamment puisque les types de handicap et les PA (Tableau 6, page 26) sont très nombreux et divers. Nous avons choisi d'axer notre cas sur la Mobilité Personnelle, puisqu'elle est une condition indispensable à la réalisation d'autres activités telles que le soin personnel, les activités domestiques, celles liées à l'emploi, à la formation professionnelle et au loisir. En outre, d'autres classes de PA ont une intersection avec la mobilité, telles que les orthèses et prothèses ou les aménagements et adaptations pour les logements.

Le choix de travailler en lien avec la mobilité dans la Ville de Grenoble nous est apparu comme une évidence connaissant la réputation de Grenoble du point de vue de l'accessibilité urbaine. En effet, la ville est bien aménagée pour permettre un accès de tous aux voies publiques, aux bâtiments publics et aux transports en commun. Ces initiatives englobent les PSH, les personnes âgées et tous les autres citoyens de la ville.

Ces décisions prises, nous avons sélectionné, à partir de la norme ISO 9999, les sous-classes avec leurs catégories respectives de PA pour la Mobilité Personnelle. A partir des définitions présentes dans la norme (Tableau 39), nous avons cherché des similarités entre les sous-classes et catégories pour constituer les Familles de PA. Une telle étude a aussi inclus la définition des quelques paramètres de comparaison entre elles, notamment quelques variables liées au processus de déplacement.

Sous-classe	Définition
PA à la marche manipulés par un bras	Dispositifs permettant de soutenir l'utilisateur lorsqu'il marche, utilisés séparément ou par paire, chacun étant manipulé par un seul bras ou une seule main
PA à la marche manipulés par les deux bras	Dispositifs permettant de soutenir l'utilisateur lorsqu'il marche, manipulé par les deux bras ou par la partie supérieure du corps
Accessoires pour produits d'assistance à la marche	Dispositifs destinés à être utilisés avec les aides à la marche dans un but spécifique
Voitures, fourgonnettes et camions (VFC)	VFC à usage personnel et fourgonnettes utilisées pour le transport public, conçus pour accueillir des conducteurs ou des passagers en situation de handicap
Véhicules de transport collectif	Véhicules destinés à transporter des groupes de personnes dans le cadre d'un système de transport public ou commercial
Accessoires et adaptations de véhicules	Produits pouvant être ajoutés aux véhicules ou modifications apportées aux véhicules pour permettre leur utilisation par des PSH (monter, descendre ou de conduire en toute sécurité)
Cyclomoteurs et motocycles	Véhicules motorisés conduits debout
Autres véhicules motorisés	Les dispositifs de mobilité dont le conducteur est debout, les motoneiges, les scooters des neiges, les véhicules « tout-terrain » et les karts en font partie
Cycles	Les cycles à propulsion assistée en font partie
Fauteuils roulants manuels	Dispositifs permettant une mobilité sur roues et assurant un soutien du corps des personnes atteintes d'une incapacité à la marche (manœuvrés par un occupant ou une tierce personne)
Fauteuils roulants motorisés	Dispositifs à propulsion motorisée, conçus pour fournir une mobilité sur roues et assurer un soutien du corps des personnes atteintes d'une incapacité à la marche
Accessoires de fauteuils roulants	Dispositifs conçus pour être associés à l'utilisation des fauteuils roulants
Autres véhicules à propulsion humaine	-
PA au transfert et PA permettant de tourner	PA pour aider au changement de position en relation avec une autre activité
PA permettant de lever des personnes	Équipement permettant de se transférer en soulevant et en repositionnant une personne pour permettre une activité souhaitée
PA permettant de s'orienter	Dispositifs de navigation, de guidage, d'identification ou de reconnaissance de l'environnement alentour

Tableau 39 – Sous-classes de PA à la mobilité personnelle [2]

Les paramètres de comparaison entre les sous-classes de PA pour la Mobilité Personnelle que nous avons définis sont présentés ci-dessous :

- Le type de déplacement – ils sont classifiés comme un changement postural faible et passif, normalement fait par une tierce personne à l'aide d'un PA ; marcher avec le PA de manière active ; et partir sur/dans le PA, qui possède quelques aspects actifs (conduite, par exemple) ou passif (être placé dans ou retiré d'un véhicule, par exemple) ;
- La position du corps lors du déplacement – elle est définie comme couchée, debout ou assise;
- La motorisation du PA – ce critère a trois possibilités : la présence, l'absence ou la possibilité d'avoir une motorisation dans la composition du PA.

Ces trois paramètres nous ont permis de vérifier de manière implicite le niveau d'indépendance d'une la personne qui se déplace et la distance atteignable avec l'utilisation du PA. De plus, ces critères nous ont aussi permis de vérifier la similarité de ces PA avec quelques catégories comme « produits grand public ». Ainsi, nous avons pu fixer les familles de produits à partir des sous-classes à l'intérieur de la classe de produits pour la mobilité personnelle. Le Tableau 40 montre le résultat de cette analyse.

Sous-classe	**Déplacement**	**Position**	**Motorisation**	**Familles**
PA au transfert et PA permettant de tourner	Postural (passif)	Couchée	Possible	Dispositifs de Positionnement
PA permettant de lever des personnes	Postural (passif)	Couchée	Possible	
PA à la marche manipulés par les deux bras	Partir avec (actif)	Debout	Absente	Dispositifs d'aide à la marche
PA à la marche manipulés par un bras	Partir avec (actif)	Debout	Absente	
PA permettant de s'orienter	Partir avec	Debout	Possible	Dispositifs pour l'orientation
Fauteuils roulants manuels	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Absente*	Véhicules non-motorisés
Autres véhicules à propulsion humaine	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Non-motorisé	
Cycles	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Non-motorisé	
Fauteuils roulants motorisés	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Motorisé	Véhicules motorisés
Voitures, fourgonnettes et camions	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Motorisé	
Véhicules de transport collectif	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Motorisé	
Cyclomoteurs et motocycles	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Motorisé	
Autres véhicules motorisés	Partir sur/dans (actif/passif)	Assise	Motorisé	

Tableau 40 – Définition des Familles de PA pour la mobilité personnelle

A partir de ces études nous avons pu définir cinq familles de PA à la Mobilité Personnelle, à savoir :

- Les dispositifs de positionnement – la famille est composée par les PA utilisés pour les déplacements posturaux faibles, réalisés de manière passive, surtout pour des personnes couchées. Ces produits peuvent être motorisés et servent au transfert, au retournement et au soulèvement des PSH ;
- Les dispositifs d'aide à la marche – la famille est composée par les PA utilisés par une personne ayant les capacités de marcher. Donc, il s'agit d'un déplacement actif, réalisé dans la position debout, à travers des PA non-motorisés, manipulés par un ou deux bras ;
- Les dispositifs pour l'orientation – la famille est composée par les PA utilisés pour la localisation spatiale des PSH, pour des raisons cognitives ou sensorielles. Les personnes sont capables de marcher, mais pas de se repérer dans l'espace. Ces PA peuvent être motorisés, dans le sens de l'incorporation des parties électroniques ;
- Les véhicules non-motorisés – la famille est composée par des PA qui font le déplacement pour la PSH, à partir d'une force motrice exercée par la PSH ou par une tierce personne. En effet, ces véhicules peuvent parfois incorporer une motorisation qui complémente les fonctions, comme par exemple qu'une assistance électrique (* dans le Tableau 40) ;
- Les véhicules motorisés – la famille est composée par des PA qui font le déplacement pour la PSH. Soit l'usager se positionne, soit il est placé à l'intérieur ou sur le véhicule, pour un usage qui reste plutôt passif car la force motrice du véhicule vient de la motorisation (même si c'est elle qui conduit le véhicule).

La variété de produits dans cette classe d'assistance est énorme et sa séparation en familles nous a permis de travailler de façon plus ciblée sur la conception. Ainsi, nous avons choisi de travailler avec deux familles de produits sur deux cas d'étude différents : les **Dispositifs d'Aide à la Marche** (DAM) et les **Véhicules Non-Motorisés** (VNM). En effet, les deux cas d'étude ont été réalisés selon la méthode de recherche présentée dans la Section 1.3.2, notamment dans la Figure 2 (page 36). Ainsi, le modèle de référence pour la conception de PA a été mis à l'épreuve à travers le cas d'étude sur les DAM (étape 4 de la méthode de recherche). Nous avons ensuite réalisé une analyse pour l'amélioration du modèle proposé (étape 5). Comme résultat, nous avons confirmé les étapes de conception et affiné les principes de conception et la stratégie de déroulement de la démarche. Finalement, nous avons mené un deuxième cas d'étude pour analyser surtout le déroulement des premières étapes de conception (étape 6 de la méthode de recherche) pour enfin avoir une version finale pour le modèle (étape 7).

Chaque cas d'étude a été réalisé au Laboratoire G-SCOP en collaboration avec l'école de Génie Industriel de l'Institut polytechnique de Grenoble. Ainsi, quelques stagiaires ont également été intégrés lors de cette recherche. Nous avons utilisé différentes versions du modèle de conception pour la réalisation des cas d'étude sur les DAM et sur les VNM. Elles sont présentées dans ce Chapitre.

4.2 LES DISPOSITIFS D'AIDE A LA MARCHE (DAM)

Cette section présente les cas d'étude réalisé dans le cadre des DAM. Cette famille de produits est composée par des PA à la marche manipulés par un bras, comme les cannes et béquilles, ou par les deux bras (comme les cadres de marche) et par des accessoires (embouts, pneumatiques et roues pour les DAM). La Section est organisée selon les étapes du modèle de conception (Figure 39, page 125).

4.2.1 La Découverte des Dispositifs d'Aides à la Marche (DAM)

La première étape de la conception des DAM a pour but de construire une connaissance approfondie et large des fonctions principales livrées par ces produits. La Découverte englobe la caractérisation des PSH qui utilisent ou qui ont besoin d'utiliser ce type de produit, l'analyse des produits connexes déjà présents sur le marché et l'identification de l'environnement d'utilisation de ces produits. Les activités de cette étape sont listées dans la Figure 49 (page 141).

4.2.1.1 Détermination des fonctions des DAM

L'objectif de cette activité est de spécifier le support que les DAM doivent proposer à la PSH. Cela commence avec la tâche de **Caractérisation de l'utilisation**, où nous utilisons les classifications des PA (la norme ISO 9999) et des caractérisation des PSH (la CIF). La liaison entre ces documents a été effectuée par un comité technique de l'Organisation internationale de normalisation (ISO, en anglais) : le comité ISO/TC 173 (Appareils et accessoires fonctionnels pour les personnes handicapées).

En termes de fonctions organiques, tous les dispositifs d'aide à la marche sont appliqués aux Fonctions de l'appareil locomoteur et liés au mouvement, spécifiquement les **Fonctions relatives au type de démarche** (b770) ou les « fonctions relatives aux types de mouvements associés à la marche, la course ou d'autres mouvements de tout le corps ».

La CIF inclue dans cette fonction les « allures de marche et allures de course, déficiences comme la démarche spastique, la démarche hélicopode de l'hémiplégie, la démarche paraplégique, la démarche asymétrique, la claudication et l'allure de démarche rigide. En revanche, du point de vue des activités et des participations souhaitées, les produits d'aide à la marche sont employés dans le cadre de la mobilité, comme listés dans le Tableau 41.

Catégories de Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM)	**Activités et Participations**			
	d450	**d460**	**d410**	**d415**
Cannes de marche	x	x		
Cannes de marche à trois pieds ou plus	x	x		
Cannes-sièges	x	x		x
Cannes avec appui antébrachial	x	x		
Cannes avec support d'avant-bras	x	x		x
Béquilles avec support axillaire	x	x		
Cadres avec support latéral	x	x		
Cadres de marche	x	x		
Déambulateurs	x	x		
Chaises de marche	x	x		
Tables de marche	x	x	x	x

Tableau 41 – Activités et participations (CIF) assistés par les DAM (ISO 9999) [184], [185]

Les activités et participations codées d450 (Marcher) et d460 (Se déplacer dans différents lieux) sont partagées par tous les DAM, tandis que l'activité d410 (Changer de position corporelle de base) n'est supportée que par les Tables de marche. Les activités de type d415 (Garder la position du corps) sont supportées par les Cannes-sièges, les Cannes avec support d'avant-bras et les Tables de marche. Nous présentons ci-dessous quelques définitions et particularités de ces activités et participation :

- Marcher (d450), signifie « avancer à pied, pas à pas, de manière qu'au moins un des pieds soit toujours au sol, comme se promener, déambuler, marcher en avant, marcher en arrière ou sur le côté ». Cela inclus marcher sur des courtes et des longues distances, sur différentes surfaces et aussi en contournant des obstacles ;
- Se déplacer dans différents lieux (d460) signifie « marcher et se déplacer entre divers lieux et dans diverses situations, comme aller d'une pièce à l'autre dans une maison, dans un immeuble, ou dans la rue ». Donc, cela touche les aspects liés au déplacement dans la maison, dans des bâtiments autres que la maison et à l'extérieur de ces environnements ; aussi bien que les activités de ramper ou de grimper.

- Changer de position corporelle de base (d410) signifie « prendre et quitter une position, passer d'un endroit à un autre, comme se lever d'un fauteuil et se coucher dans un lit, prendre et quitter les positions à genoux ou accroupi » ;
- Garder la position du corps (d415) signifie conserver une même position si nécessaire, comme rester couché, accroupi, à genoux, assis ou debout par exemple.

Ainsi, à partir des liaisons entre la norme ISO 9999 et la CIF, nous pouvons avoir une première approximation des caractéristiques entre les DAM et les usagers. Cela se montre très utile pour cibler la caractérisation des utilisateurs (prochaine activité), et découvrir des subtilités des besoins et des améliorations sur les DAM.

Nous avons aussi travaillé dans la tâche d'**identification des aspects légaux et normatifs** liés des DAM. Ils peuvent apporter des opportunités ou des encouragements pour la conception, fabrication et commercialisation d'un PA. En revanche, tels documents peuvent abriter aussi les contraintes et les règles que ses produits doivent respecter pour assurer la sécurité des PSH, sont remboursement par les services publics de sécurité sociale, etc.

Tout d'abord, la convention relative aux droits des personnes handicapées atteste, dans ses obligations générales, que les pays signataires doivent assurer l'accès aux PA pour la Mobilité Personnelle permettant l'accessibilité fondamentale pour son utilisation. Ainsi, les États doivent prendre des mesures efficaces pour assurer la mobilité des PSH en « (1) Facilitant la mobilité personnelle (modalités, fréquence et coût abordable) ; (2) Facilitant l'accès des PSH à des aides à la mobilité ; (3) Dispensant aux PSH et aux soignants une formation aux techniques de mobilité ; et (4) Encourageant les organismes qui produisent des aides à la mobilité, des appareils et accessoires et des PA à prendre en compte tous les aspects de la mobilité des PSH » [186].

Deux autres documents légaux nous ont apparu importants. Le premier est la Loi française numéro 2005-102 du 11 février 2005 pour « l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées ». Cette loi détermine que « la chaîne du déplacement, qui comprend le cadre bâti, la voirie, les aménagements des espaces publics, les systèmes de transport et leur intermodalité, est organisée pour permettre son accessibilité dans sa totalité aux personnes handicapées ou à mobilité réduite » [18]. Le second document concerne l'arrêté du 9 janvier 2006, fixant la liste des dispositifs médicaux que les masseurs-kinésithérapeutes sont autorisés à prescrire. Il autorise ces professionnels à la prescription des aides à la déambulation comme les cannes, béquilles et déambulateurs [187]. Ainsi, ces produits ont un éventail plus grand de possibilités de prescription et de remboursement, et les conditions de leur utilisation doivent être assurées par la loi.

Lors de cette du processus, nous avons aussi identifié quelques normes ISO qui doivent être respectées lors de la conception et testées sur des DAM. Trois sont liées aux DAM manipulés par les deux bras, deux se concentrent sur les DAM manipulés par un bras et deux ciblent les accessoires de ces dispositifs, notamment les embouts.

Code	Titre de la norme
ISO 11199-1 : 1999	Aides à la marche manipulées avec les deux bras – Exigences et méthodes d'essai – Partie 1 : Cadres de marche
ISO 11199-2 : 2005	Aides à la marche manipulées avec les deux bras – Exigences et méthodes d'essai – Partie 2 : Déambulateurs
ISO 11199-3 : 2005	Aides à la marche manipulées avec les deux bras – Exigences et méthodes d'essai – Partie 3 : Tables de marche
ISO 11334-4 : 1999	Aides aux marches manipulées avec un bras – Exigences et méthodes d'essai – Partie 4 : Cannes de marche avec au moins trois jambes ou plus
ISO 11334-1 : 2007	Produits d'assistance à la marche manipulés avec un bras – Exigences et méthodes d'essai – Partie 1 : Cannes à appui antébrachial
ISO 24415-1 : 2009	Embouts pour produits d'assistance à la marche – Exigences et méthodes d'essai – Partie 1 : Frottement des embouts
ISO 24415-2 : 2011	Embouts pour produits d'assistance à la marche – Exigences et méthodes d'essai – Partie 2 : Durabilité des embouts de béquilles

Tableau 42 – Normes pour la conception et tests des DAM

A travers tous ces documents, nous avons pu identifier quelques critères de construction et de performance des DAM, ainsi qu'un groupe de documents légaux plutôt positif pour le développement des aides à la marche. La tâche suivante a ainsi pu être démarrée dans le but de Définir les plateformes pour les DAM. Nous avons analysé les définitions de ces PA pour pouvoir proposer des plateformes en permettant une conception transversale à plusieurs catégories de DAM. Une première proposition définit trois plateformes (Cannes, Béquilles et Cadres) pour la famille les PA (Tableau 43).

Plateformes et leurs catégories de DAM	Composants des DAM à partir de la norme ISO 9999									
	Poignée	Coude	Avant-bras	Axillaire	Siège	Table	Tige	Cadre	Embout	Roue
Cannes										
Cannes de marche	x						x		x	
Cannes de marche à 3 pieds ou plus	x						x		x	
Cannes-sièges	x				x		x		x	
Béquilles										
Cannes avec appui antébrachial	x	x					x		x	
Cannes avec support d'avant-bras	x		x				x		x	
Béquilles avec support axillaire	x			x			x		x	
Cadres										
Cadres avec support latéral	x							x	x	
Cadres de marche	x							x	x	x
Déambulateurs	x							x		x
Chaises de marche	x				x			x		x
Tables de marche	x					x		x		x

Tableau 43 – Plateformes proposés pour les DAM [2]

Pour faciliter l'analyse des catégories de produits, nous avons enlevé les accessoires, étant donné que ceux-ci font partie des DAM (ils sont donc déjà pris en compte de manière implicite). Il est possible d'assembler toutes les catégories de DAM proposées dans chaque plateforme définie, à savoir :

- Les cannes – elles sont composées d'une tige principale et sur ses extrémités sont trouvées une poignée avec un ou plusieurs embouts ;
- Les béquilles – elles sont composées d'une tige principale, d'une poignée, d'un support additionnel et d'un embout ;
- Les cadres – ils sont composés d'une structure avec trois pieds (ou plus), où sont installés les supports et les éléments de manipulation. Des embouts et/ou des roues doivent être placées aux extrémités qui touchent le sol.

Ensuite nous avons vérifié les similarités entre ces trois plateformes, ces DAM et quelques produits pour le « grand public ». Les cannes et les béquilles ont été mises dans un même groupe pour l'analyse et la comparaison. Cette analyse a pris en considération les similarités et les liens entre les catégories de PA. Ainsi, il se vérifie que les cannes de marche et les cannes de marche à trois pieds (ou plus) ont de fortes relations, étant donné que la seule différence entre elles se trouvent au niveau des embouts. De plus, la norme ISO 9999 suggère des liaisons entre les cannes de marche et les cannes tactiles ou cannes blanches utilisées par les personnes aveugles. Ensuite, des liaisons existent aussi entre les cannes et les béquilles, étant donné que ces produits partagent la même structure de base, et que les béquilles peuvent être utilisées comme des cannes.

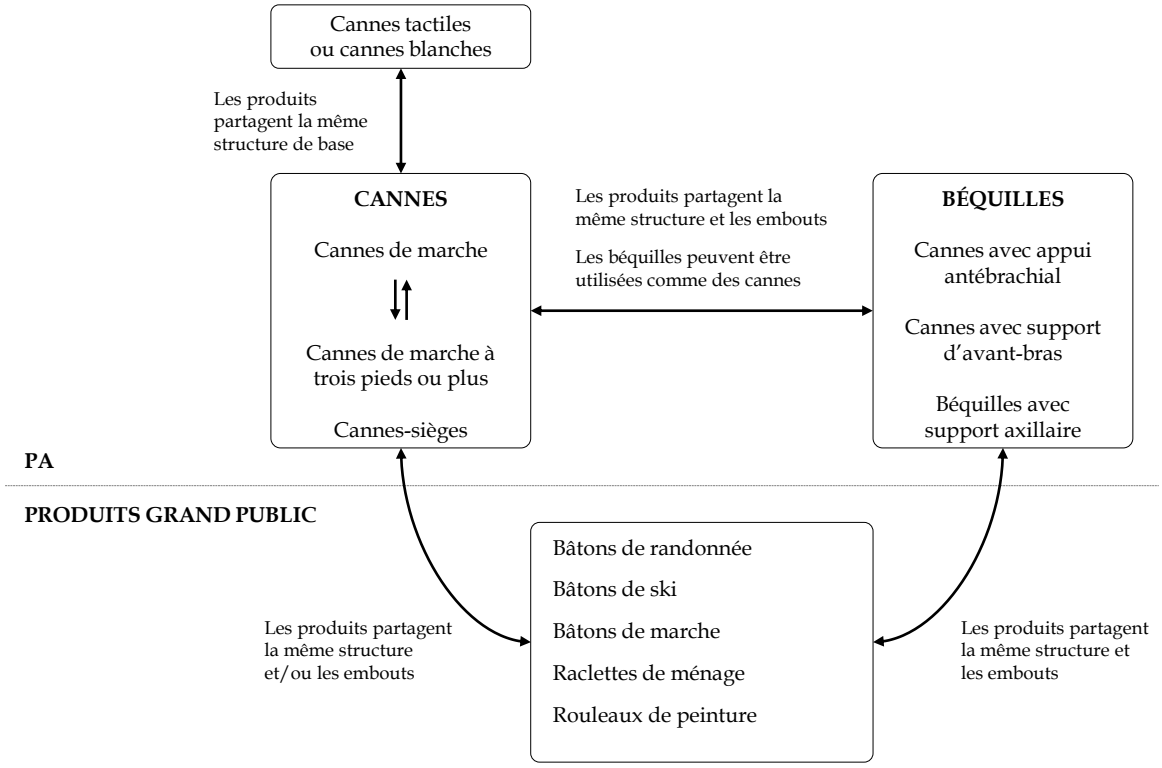


Figure 80 – Intersections entre les cannes et les béquilles les produits « grand public »

La comparaison entre les DAM présents dans la Figure 80 et les produits dits de « grand public » montre que quelques produits partagent la même structure et/ou embouts que les cannes et les béquilles. C'est le cas des bâtons de randonnée, de ski ou de marche nordique. Cela permet le partage de composants entre les DAM et ces produits de manière à avoir des produits plus flexibles en termes de public mais également moins chers du fait de l'augmentation du volume de fabrication de certains composants.

La plateforme de cadres de marche a également été analysée avec les mêmes objectifs. Les résultats sont présentés dans la Figure 81. D'abord, nous observons que la norme relie tous les cadres à une autre catégorie de produits d'assistance : les Chariots. Ensuite, cette figure explicite la liaison entre les Cadres avec support latéral, les Cadres de marche et les Déambulateurs, ainsi que les intersections entre les Chaises de marche et les Trottinettes non-motorisés à propulsion monopodale.

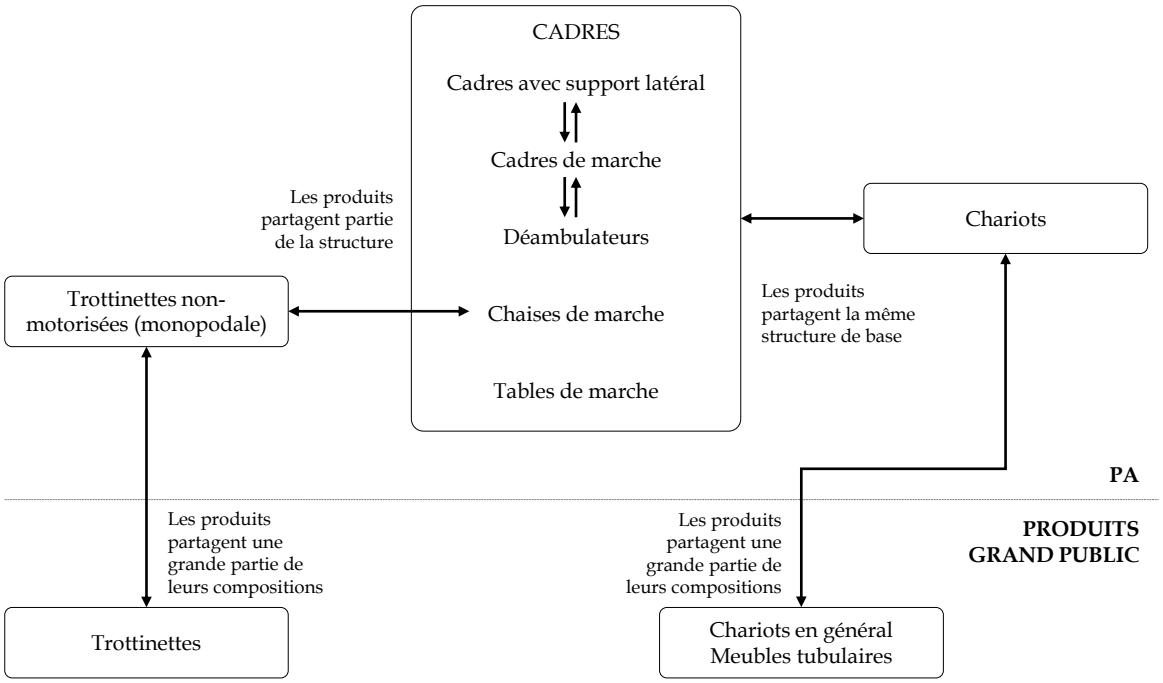


Figure 81 – Intersections entre les cadres de marche et les produits dits « grand public »

En effet, les connexions entre les Cadres et les Chariots et entre les Chaises de marche et les Trottinettes nous ont ouvert aussi la possibilité d'analyser plus globalement les trottinettes et les chariots pour les produits dits « grand public ». Ceci a pour conséquence la possibilité de partage de composants entre les dispositifs destinés aux PSH et les produits destinés à tout le monde.

Finalement, cette activité de **Détermination de Fonctions** nous a permis de naviguer dans le monde des DAM de manière à connaître les fonctions globales auxquelles ces PA, les aspects légaux et normatifs qui règlementent et stimulent ce domaine, et la composition de ces produits pour pouvoir proposer une alternative de plateformes pour la conception des DAM (notamment les Cannes, les Béquilles et les Cadres). En revanche, nous avons laissé la décision ouverte pour la détermination de ces

plateformes : possibilité de composer alternativement Cannes et Béquilles sur une plateforme unique, ou mêmes les trois types de DAM (cannes, béquilles, cadres) conçus à travers une même plateforme.

4.2.1.2 Caractérisation des utilisateurs des DAM

La caractérisation des utilisateurs des DAM a pour but de comprendre les PSH qui se servent ces produits, plus précisément les capacités mobilisées et les préférences personnelles. Pour cela, les principales initiatives réalisées ont été la recherche de connaissances techniques, médicales et psychologiques, à travers des articles scientifiques, des discussions avec les professionnels spécialisés et aussi l'observation des usagers en cours d'utilisation des produits.

Nous avons vu que les DAM servent à répondre aux problèmes de fonctions « relatives au type de démarche » (b770), notamment quand ils ont des conséquences sur les activités et la participation : la marche (d450), le déplacement dans différents lieux (d460), le changement (d410) et le maintien (d415) de la position du corps. En effet, il existe des énormes variétés d'étiologies pour les troubles de la marche, comme les aspects physiques tels que les accidents et les blessures en général, les cas de perte graduelles du contrôle de la marche comme les maladies dégénératives et aussi les processus naturels de vieillissement par lesquels nous passons tous. Ainsi, un grand nombre de causes peut mener à des situations de limitations d'activités et de participation.

Pour toute cette variété de cas, les DAM peuvent être utilisés de façon à permettre aux gens de garder leur équilibre, se déplacer avec indépendance et réaliser toutes sortes d'activités du quotidien. En outre, « ces aides peuvent contribuer à réduire le chargement des membres inférieurs et atténuer ainsi les douleurs articulaires ou de compenser la faiblesse. Les aides à la marche peuvent améliorer le contrôle de l'équilibre en fournissant des avantages mécaniques » [188]. Il existe plusieurs aspects liés à l'utilisation d'une aide à la marche, tels que le niveau d'attention de la personne, aussi bien que ses conditions motrice, musculo-squelettique et psychologique.

Parmi les effets psychologiques de l'utilisation d'un DAM, nous pouvons citer l'augmentation de la confiance pour marcher et aussi le maintien des autres activités de la personne. Du point de vue de la santé physique, permettre aux gens de se mettre debout et marcher a des influences positives sur la prévention de l'ostéoporose et de déconditionnement cardiorespiratoire, et sur la circulation et l'amélioration de la fonction rénale [188]. Les avantages biomécaniques et moteurs des aides à la marche sont obtenus à partir de la régulation de la position et du mouvement du centre de masse du corps (COM, *center of mass* en anglais) par rapport aux limites de stabilité définies par la base de support (BOS, *base of support* en anglais), comme montré dans la Figure 82. De plus, l'utilisation d'une aide à la marche peut réduire le chargement des membres inférieurs.

Ainsi, pour atteindre l'équilibre, le COM doit rester dans les limites de la BOS. Cette base peut être augmentée à partir de l'introduction d'un dispositif d'aide à la marche, comme une canne ou un cadre de marche. Ceci facilite le maintien du COM de la personne dans les limites de la BOS. La Figure 83

montre l'augmentation de la base de support (BOS) montre l'augmentation de cette BOS à partir de l'introduction d'une aide à la marche.

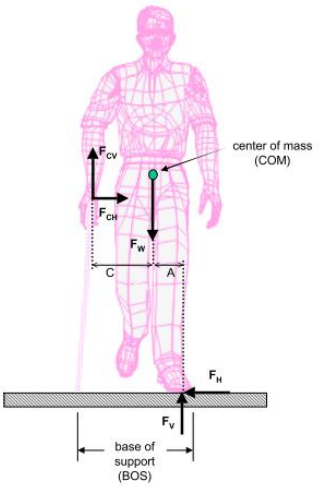


Figure 82 – Stabilisation d'une personne à partir de l'utilisation d'une canne [188]

Les illustrations 1 à 5 de la Figure 83 montrent la démarche de déplacement d'une personne utilisant une canne positionnée de manière opposée au membre inférieur affecté (pointillés blancs). L'illustration (1) montre la position de base ; en (2) un support triple apparaît à partir du mouvement du membre affecté synchronisé avec la canne ; en (3) le membre non-affecté est déplacé et le corps reste sur deux points d'appui (la canne et le pied affecté) ; en (4) apparaît le retour à l'appui triple et en (5) le mouvement du membre affecté avec la canne permet de recommencer le cycle. Le déplacement en cadre de marche est moins fluide que celui réalisé avec une canne. En revanche l'augmentation de la surface d'appui est plus importante. La démarche avec cadre commence dans le cadre (6) de la Figure 83, où la personne est en repos avec le cadre. Ensuite, en (7) le cadre est avancé et l'appui se fait avec les deux pieds ; en (8) le dispositif d'aide à la marche est reposé à terre. Enfin, la personne effectue sa démarche en l'initiant avec le pied affecté et en finissant avec l'autre pied.

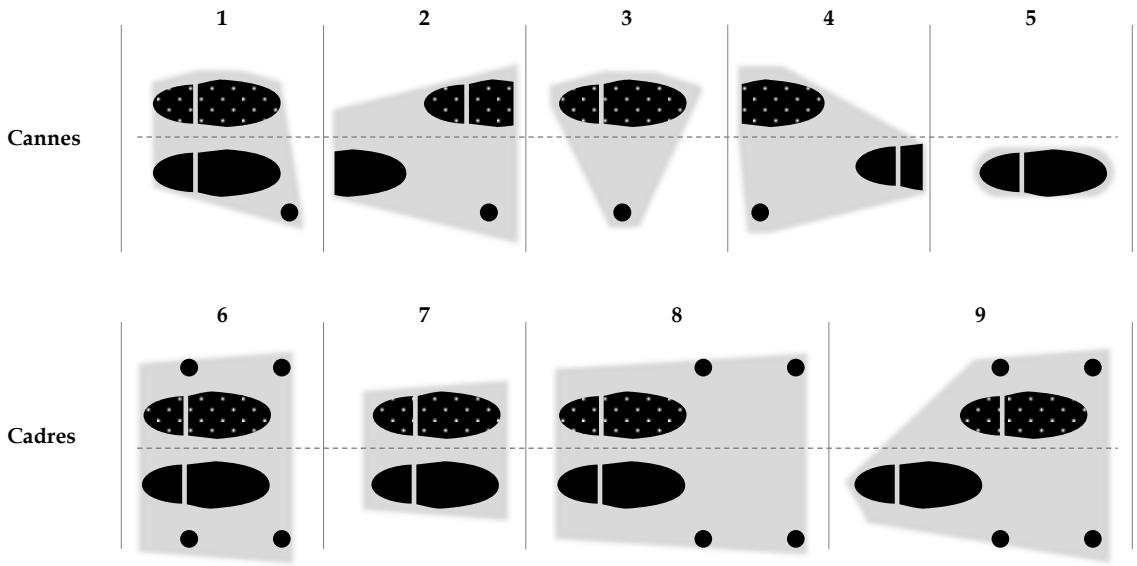


Figure 83 – Augmentation de la base de support par l'introduction d'une aide à la marche [188]

L'augmentation de la BOS réalisée par une paire de béquilles est analogue à celle présentée dans la Figure 83. L'utilisation d'une aide à la marche offre aussi d'autres avantages comme aider la personne dans la propulsion et dans le freinage de la marche. En outre, les DAM sont utiles aussi pour l'augmentation des repères sensoriels à partir d'informations sur la posture qui sont envoyés au système nerveux pour que la personne puisse se repérer dans l'espace et contrôler son équilibre [188].

En revanche, les DAM apportent aussi des problèmes qui doivent être considérés lors de leur conception et de leur prescription. Tout d'abord, une attention doit être donnée à la symétrie du mouvement quand les deux bras sont mobilisés. Quand le dispositif est utilisé à un seul bras, il doit être placé du côté opposé au membre affecté (Figure 83). En outre, l'utilisation d'un DAM demande une attention et un contrôle moteur supplémentaires. Il faut une capacité à soulever et à faire progresser le dispositif. Le contact avec le sol doit se faire dans un endroit approprié, de manière synchronisée avec le mouvement du corps, tout en évitant tout contact accidentel avec les membres inférieurs ou avec d'autres objets de l'environnement. Il faut aussi contrôler avec précision les forces et les moments à appliquer au dispositif pendant le mouvement ou en réponse à la perte d'équilibre. En effet, dès que le COM est en dehors de la base d'appui, il a une très grande possibilité de chute. En outre, l'utilisation continue des DAM peut conduire à d'autres problèmes musculo-squelettiques comme les fractures ou des tendinites, spécialement s'ils ne sont pas utilisés correctement [188].

Suite à l'identification de ces aspects médicaux et pour compléter ces aspects théoriques, des observations de situations réelles d'utilisation des DAM ont été effectuées. Cette expérience a été intéressante parce que nous avons pu nous confronter à la réalité de plusieurs patients de différents profils, tels que ceux qui font une utilisation continue des aides à la marche et aussi d'autres personnes qui n'utilisent ces dispositifs qu'en cas de récupération temporaire. Ces observations ont été réalisées avec le soutien d'une kinésithérapeute qui a pu ajouter quelques particularités sur les paternes de marche, sur les problèmes ressentis lors de l'utilisation des DAM et qui a aussi réalisé des démonstrations pra-

tiques de paternes de marche problématiques pour mieux comprendre comment les dispositifs agissent pour réaliser la compensation nécessaire.

Le rôle de la kinésithérapeute a été important aussi pour l'analyse des conséquences psychologiques de l'utilisation d'un DAM : dans un sens l'utilisation de ce type de produit chez un jeune ou un adolescent peut être honteux car étant signe de blessures ou de fragilité. De manière opposée, cela peut aussi être une raison de fierté lorsque la blessure provient d'une pratique sportive ou exprime une vie active que l'entourage valorise. En revanche, l'usage d'une canne chez une personne qui commence à perdre des capacités de la marche dû au vieillissement a une conséquence émotionnelle bien plus négative. Généralement, la prescription du dispositif n'est pas aisément acceptée par la personne : elle a tendance à refuser cette assistance et souhaite éloigner d'elle l'image du « papi avec son déambulateur ». Ainsi, une personne âgée qui commence à utiliser une canne, passe à une béquille ou à l'utilisation d'un déambulateur peut facilement penser que son état de santé se détériore et qu'elle passera bientôt à l'utilisation d'un fauteuil roulant. Ces aspects doivent être pris en compte lors de la conception du PA.

Finalement, à partir de ces discussions et observations, nous avons pu construire le diagramme d'indication pour l'usage d'un DAM selon les catégories de ce produit. La recommandation utilise deux variables : l'élargissement de la BOS et l'Appui du poids de la personne. Ainsi, les cannes se trouvent plus dans la partie à inférieur à gauche, les béquilles dans une position intermédiaire et les cadres à droite. Le cadre latéral permet une décharge faible de poids de la personne alors que la chaise de marche permet un appui total de la personne sur l'assise. Le diagramme est présenté dans la Figure 84.

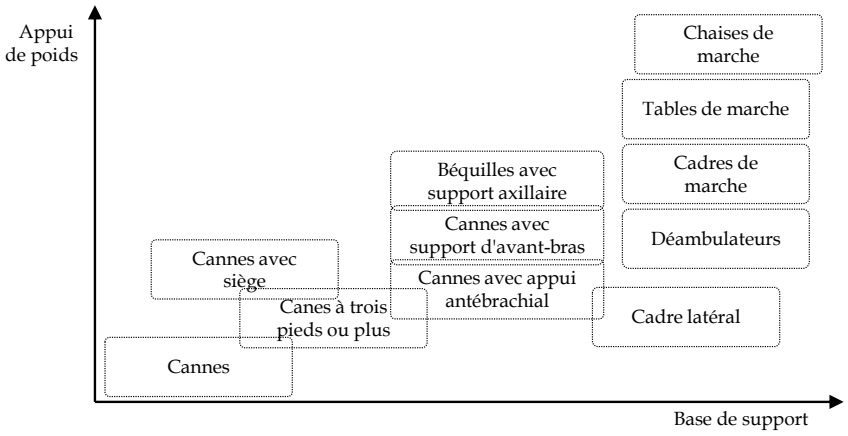


Figure 84 – Fonctions livrées par les DAM aux PSH

Suite aux connaissances accumulées lors des deux premières activités de l'étape de Découverte, nous passons à l'étude des DAM présents sur le marché.

4.2.1.3 *Analyse de produits connexes aux DAM*

L'analyse de produits similaires a pour but d'identifier non seulement l'état de la technique dans le contexte des DAM, ainsi que les opportunités d'amélioration de ces dispositifs. Pour cela, nous avons procédé à une recherche des produits d'assistance dans les bases de données spécialisées, comme Handicat (France), AbleData (Etat-Units), Eastin (Europe), Rehadat (Allemagne) et Hjælpemiddelbasen (Danemark). A partir de ces bases, nous avons sélectionné les PA et enregistré des informations comme le nom du produit, le nom du fabricant, la description du produit, des photos et diagrammes, des brevets (quand ils sont existants), des manuels d'instructions, etc. Grâce à ces informations nous avons pu analyser les PA au regard des facteurs suivants : l'architecture des produits, l'approche de conception, la complexité du produit, la stratégie de fabrication et la personnalisation.

A chaque enregistrement de nouveau DAM, ce dernier devait être positionné par rapport aux autres déjà référencés. Ainsi, nous avons sélectionné 200 produits, dont 73 DAM (Tableau 44) et 127 accessoires pour ces dispositifs.

Sous-classe	Catégorie	Définition	Qte.
DAM manipulés par un bras	Cannes de marche	Dispositifs de soutien lors de la marche munis d'une poignée sans support d'avant-bras, d'une seule tige et d'un embout	28
	Cannes de marche avec trois pieds ou plus	Dispositifs de soutien lors de la marche munis d'une poignée sans support d'avant-bras et d'une seule tige qui se divise en trois tiges au moins, chacune terminée par un embout ; plusieurs embouts offrent davantage de stabilité	2
	Canne-siège	Dispositifs de soutien lors de la marche munis d'une poignée sans support d'avant-bras, d'une seule tige , d'un ou plusieurs embouts et d'un siège, généralement pliant, fixé à la poignée ou à la tige	2
	Cannes avec support d'avant-bras	Dispositifs de soutien lors de la marche munis d'un support horizontal semi-circulaire pour l'avant-bras au-dessous du coude, d'une poignée, d'une seule tige et d'un embout	4
	Cannes avec appui antébrachial	Dispositifs de soutien lors de la marche munis d'un support horizontal semi-circulaire pour le coude, d'une poignée, d'une seule tige et d'un embout	6
	Béquille avec support axillaire	Dispositifs de soutien lors de la marche munis d'un support horizontal rembourré placé sous l'aisselle, d'une poignée horizontale et d'une ou plusieurs tiges verticales terminées par un embout. Les béquilles sous aisselle en font partie	5
	Cadres avec support latéral	Cadres de marche de stabilisation, manipulés par un seul bras et tenus sur le côté du corps ; ils comportent quatre pieds munis d'embouts et une ou deux poignées	1
DAM manipulés par les deux bras	Cadre de marche	Cadres permettant d'aider une personne à marcher ou à se tenir debout en restant stable et en équilibre, généralement en métal, munis de poignées, sans support d'avant-bras, et de quatre embouts ou deux embouts et deux roulettes. Les aides à la marche avec deux roulettes et deux butées/embouts en caoutchouc en font partie	6
	Déambulateur	Cadres permettant d'aider une personne à marcher en restant stable et en équilibre, munis de poignées et de trois roues ou plus. Les déambulateurs avec un siège de repos, les déambulateurs à appui genou et les déambulateurs inversés qui sont tirés avec l'ouverture sur le devant, par exemple, en font partie	6
	Chaise de marche	Dispositifs sur roues avec un siège ou des sangles soutenant le corps lors de la marche, avec ou sans support d'avant-bras	10
	Table de marche	Dispositifs munis de roues et d'embouts et d'une table de support ou d'un support d'avant-bras poussés vers l'avant par les deux bras, éventuellement en association avec la partie supérieure du corps	3
Total			**73**

Tableau 44 – Produits d'aide à la marche sélectionnés pour l'analyse

Le Tableau 45 liste les accessoires pour les DAM. Ils sont utilisés pour composer les produits ou pour ajouter des fonctions qui ne sont pas obligatoirement présentes dans toutes les versions.

Catégories d'Accessoires pour les DAM	Qte.
Embouts pour les aides à la marche	42
Accessoires attachés aux aides à la marche permettant de porter ou de transporter des objets	23
Produits pour tenir/prendre correctement les aides à la marche	17
Coussinets, coussins et autres accessoires pour aides à la marche permettant d'éviter les lésions de la peau	13
Produits pour faire tenir en place les aides à la marche lorsqu'elles ne sont pas utilisées	11
Accessoires pour aider à manœuvrer les aides à la marche	7
Pneumatiques et roues pour les aides à la marche	7
Sièges pour les aides à la marche	3
Dispositifs d'éclairage et dispositifs de signalement de sécurité pour les aides à la marche	2
Accessoires pour les aides à la marche fournissant un soutien à des parties spécifiques du corps	1
Accessoires pour le régler la hauteur des déambulateurs et des cadres de marche	1
Total	**127**

Tableau 45 – Accessoires pour les aides à la marche sélectionnés pour l'analyse

Après avoir sélectionné et organisé les produits selon la classification de la norme ISO 9999, nous avons procédé à leur analyse, en commençant par l'architecture des PA, notamment sur les critères du type, de l'agencement des morceaux du PA et des interfaces utilisées. Ainsi, par rapport au type d'architecture des produits, la large majorité de DAM est modulaire : ceux manipulés par un bras (47/48) et ceux manipulés par les deux bras (25/25). La seule exception est une canne massive en bois. Parmi les accessoires pour les DAM, nous en trouvons 44 modulaires et 83 non modulaires. Ainsi nous avons sélectionné 116 produits modulaires (47+25+44). A son tour, l'analyse relative à l'agencement et aux interfaces présentes dans ces PA est présentée dans le Tableau 46. Dans les produits de notre liste, les plus utilisés sont (1) l'architecture pour permutation de composants et (2) les interfaces de type connecteurs. Cela indique un bon potentiel d'augmentation de la variété de produits à partir de l'utilisation d'une modularité combinatoire voire arborescente (Figure 65, page 157).

Critère d'analyse	DAM manipulés par un bras	DAM manipulés par les deux bras	Accessoires pour les DAM	Total
Agencement des morceaux du PA				
Permutation de composant	46	25	43	114
En coupe	0	0	1	1
Type bus	0	0	0	0
Fabrication pour s'adapter	1	0	0	1
Interfaces utilisées dans les PA				
Modularité par connecteurs	46	25	33	104
Modularité en coupe	1	0	10	11
Modularité du type bus	0	0	1	1

Tableau 46 – Agencement et interfaces utilisées dans les DAM sélectionnés

Nous avons ensuite procédé à la décomposition les 72 DAM modulaires (sans les Accessoires) en systèmes et sous-systèmes. Nous avons analysé les interactions entre les éléments et leur besoin relatif de proximité. En même temps, nous avons catalogué ou répertorié les types de solutions proposées aux usagers. Un exemple de décomposition est montré dans la Figure 85 pour les Cannes de marche, Cannes de marche avec trois pieds (ou plus) et Canne-siège. Le même exercice a été fait pour les béquilles et pour les cadres.

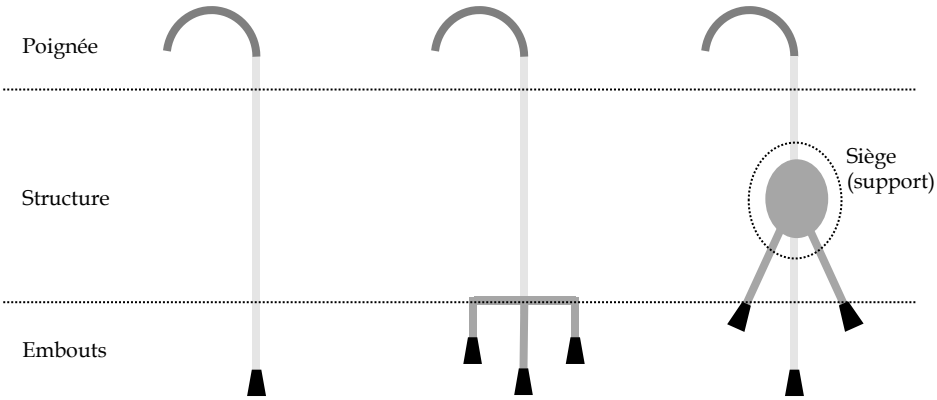


Figure 85 – Exemple de décomposition pour les cannes

L'étape suivante consistait à regrouper les éléments en systèmes pour envisager la composition de modules pour répondre aux plateformes précédemment définies. Au fur et à mesure de l'évolution de cette activité, nous nous sommes rendu compte qu'une plateforme unique pour les DAM serait une stratégie de conception adéquate. Ainsi, nous avons proposé une structure transversale (Tableau 47), par laquelle n'importe quel DAM pourrait être assemblé.

Système	Sous-système
1. Corps	1.1 Structure
	1.2 Système d'ajustement de taille
2. Support	2.1 Éléments de manipulation
	2.2 Supports additionnel
	2.3 Autres éléments de support
3. Contact avec le sol	3.1 Éléments de contact
	3.2 Eléments complémentaire
4. Éléments supplémentaires	4.1 Éléments de sécurité
	4.2 Aménagement

Tableau 47 – Proposition d'une structure transversale pour les DAM

Les DAM sélectionnés, y compris leurs accessoires, sont plutôt des produits conçus à partir d'une approche spécialisée, autrement dit, directement liés au contexte du handicap. A partir de ces études, nous vérifions aussi qu'un petit taux de composants issus d'autres produits non connexes aux PA est réutilisé. Puis, nous analysons la complexité des produits à partir de deux critères : la quantité de composants et la technologie embarquée. En effet, les accessoires et les DAM manipulés par un bras sont très simples alors que ceux manipulés par les deux bras sont d'une complexité plus importante en

termes de quantité de pièces. Ensuite, par rapport à la technologie, les DAM sont prioritairement des dispositifs mécaniques qui n'apportent pas beaucoup de nouveautés techniques.

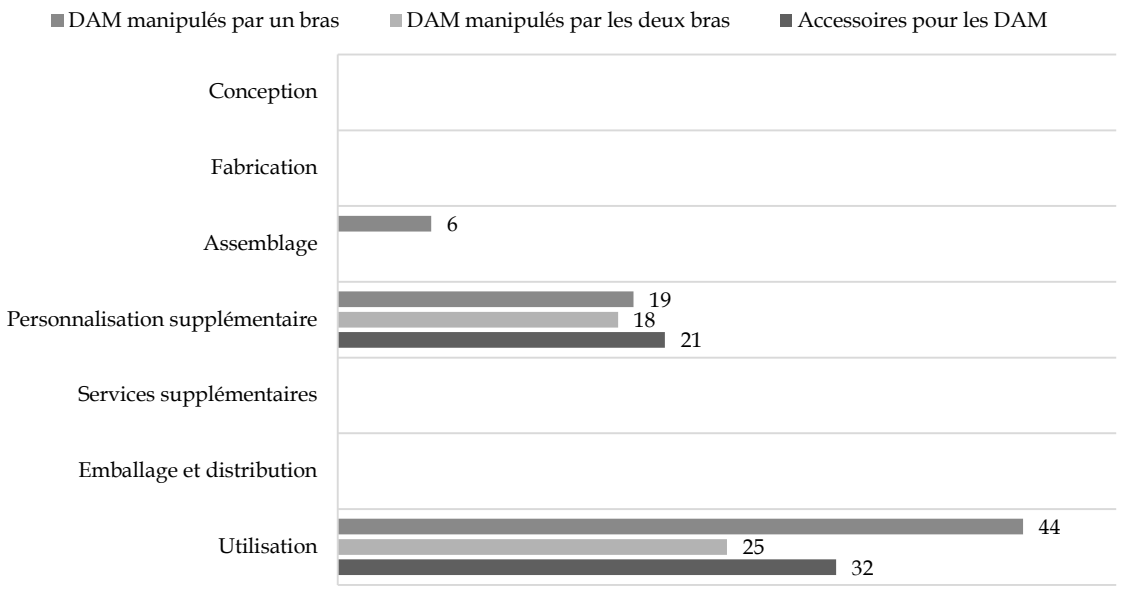


Figure 86 – Niveaux de personnalisation des DAM sélectionnés

Par la suite, nous avons analysé les produits sélectionnés selon l'optique de leurs stratégies de fabrication et de personnalisation. A partir de ce prisme nous vérifions qu'une large majorité des DAM manipulés par un ou par les deux bras sont des produits de bas niveau de personnalisation offerte aux PSH. Ainsi, la plupart des produits étaient déjà disponibles pour un achat immédiat, dénotant une stratégie de fabrication anticipée à la demande et des produits stockés chez un distributeur. Ainsi, les types de personnalisation trouvés sont ceux faits lors de l'Utilisation du Produit, la Personnalisation Supplémentaire et l'Assemblage des produits. En effet, la personnalisation comme choix de l'utilisateur n'a été trouvée que de manière très ponctuelle lors de l'assemblage du produit. Ces éléments sont illustrés à travers la Figure 86.

En effet, la personnalisation lors de l'Utilisation est plutôt caractérisée par les ajustements de taille présents dans les structures des DAM et qui permettent une meilleure adaptation entre le produit et les dimensions de l'utilisateur pour un usage adéquat. Ensuite, la Personnalisation Supplémentaire se manifeste surtout à travers les choix esthétiques et de taille du produit lors de l'achat. Ceci est présent pour la forme, les couleurs ou gravures à choisir, ou encore les textures sur les poignées, ou sur les choix de taille adulte, enfant, etc. Finalement, nous trouvons de manière marginale des ajustements du DAM pour des raisons d'évolution du cadre de la personne (situation de handicap) et pour des modifications techniques. Une telle situation est représentée par la Figure 87.

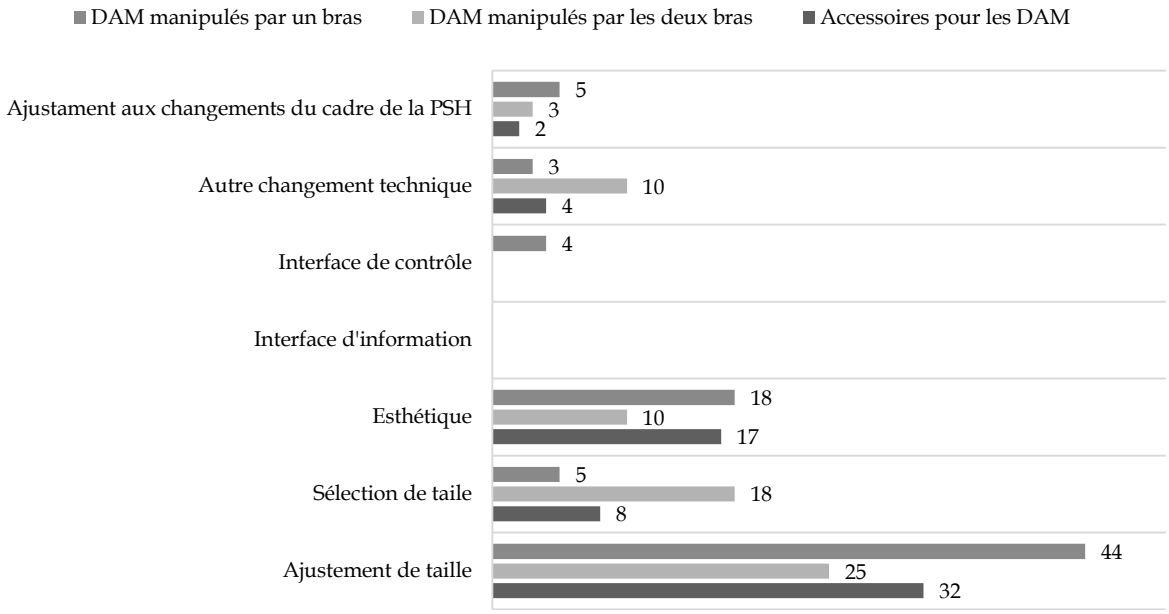


Figure 87 – Types de personnalisation des DAM sélectionnés

En synthèse, à partir des travaux réalisés dans cette activité, nous avons identifié que ces produits sont conçus prioritairement dans le domaine du handicap, qu'ils sont de petite à moyenne complexité et que le niveau de personnalisation offert aux PSH est faible. En outre, nous avons pu construire une structure transversale pour l'assemblage de tous les DAM, ce qui élargit les possibilités de proposition d'une variété de produits selon une base identique, et offre ainsi la possibilité de niveaux de personnalisation plus importants.

4.2.1.4 Environnement d'utilisation des DAM

L'environnement d'utilisation d'un PA possède un côté tangible et un côté intangible. Le contexte intangible n'a pas été travaillé lors de la réalisation de ce cas d'étude. En revanche, nous avons vérifié l'importance de travailler cet aspect qui sera bien détaillé dans le deuxième cas d'étude (Section 4.3.1.4.). En effet, comme les deux expériences sont contextualisées dans le cadre de la mobilité personnelle, les analyses sont les mêmes dans les deux situations.

Nous avons vérifié que les DAM sont responsables de l'augmentation de la BOS de la PSH et permettent la décharge de poids, en soulageant les membres inférieurs fragilisés. La marche avec ces dispositifs est de courte à moyenne durée (ou distance) et demande une préparation mentale pour certaines phases : se mettre debout, manipuler correctement le DAM, marcher selon les consignes d'un professionnel de santé, etc. En outre, les utilisateurs doivent prendre en compte les obstacles pour la réalisation de la marche : les meubles dans l'environnement domestique, les obstacles en ville, les trottoirs abimés, les marches, les véhicules en général, les autres piétons, etc.

Le principal risque auquel la PSH est soumise quand elle utilise un DAM est la chute. L'utilisateur a généralement besoin de plus d'espace pour progresser tout en en assurant sa sécurité. Une telle exi-

gence est plus importante dans le cas des cadres et des béquilles (par rapport à la canne) car ils sont utilisés des deux côtés du corps simultanément. De plus, les utilisateurs de ces produits ont une capacité de marche moins importante que les personnes qui utilisent les cannes (voir la Figure 84).

Pour les espaces intérieurs, l'adaptation des logements est fondamentale : les planchers de plein pied, les largeurs des passages des couloirs et des portes, la distance entre les meubles, etc. En revanche, une maison avec une accessibilité faible est moins grave qu'un quartier ou qu'une ville non adaptés. La personne a la tendance à s'adapter aux contraintes domestiques quand la sa configuration reste la même pendant quelque temps. Alors que dans une même ville l'accessibilité peut être très hétérogène selon les quartiers. Nous pouvons ajouter à cette réflexion la variation de l'environnement d'usage d'un DAM relativement aux saisons de l'année. En France par exemple, l'adhérence des sols va être modifiée entre une période pluvieuse, un hiver neigeux ou un été ensoleillé. Toutes ces questions doivent être considérées par les concepteurs de façon à rendre les DAM moins sensibles (si possible) aux problèmes d'accessibilité.

4.2.1.5 Activités de transition : de la Découverte vers la Définition des DAM

Suite à la réalisation des activités liées à l'étape de Découverte, nous avons travaillé à la transition vers l'étape de Définition. Pour cela, nous avons procédé à la documentation et l'évaluation des résultats selon les principes de conception : le processus centré sur la valeur pour l'utilisateur, l'exploration concourante de solutions alternatives et la standardisation du produit et du processus.

Par rapport à la valeur du produit en cours de conception, nous avons vu qu'à partir de l'utilisation de la norme ISO 9999 et le la CIF, les DAM manipulés par un ou deux bras sont utiles pour marcher (d450), pour se déplacer dans différents lieux (d460), pour changer de position corporelle de base (d410) et pour maintenir la position du corps (d415). L'étude approfondie des particularités de ces activités nous a permis de vérifier que les DAM sont utiles pour l'augmentation de la BOS de la PSH et pour la décharge de poids pour soulager les jambes des PSH. Les dimensions de la valeur se trouvent dans le Tableau 48.

Dimension de la valeur	DAM manipulés par un ou par les deux bras
Essence	Le DAM doit répondre aux sollicitations mécaniques (la compression, le cisaillement, la fatigue des matériaux, les impacts, etc.)
Esthétique	L'utilisateur doit trouver le DAM beau, dégagé des impressions de dispositif médical ou hospitalier et ajusté à la vision que la personne a d'elle-même
Utilité	Augmentation de la BOS de la PSH Permettre la décharge de poids et le soulagement des membres inférieurs Permettre la récupération de capacité d'une PSH qui a subi un accident Permettre le maintien de capacités d'une personne âgée
Utilisabilité	Le DAM doit être léger Des ajustements aux particularités de chaque personne doivent être pensés (comme des différentes prises en main, des ajustements de tailles, etc.)
Image	L'entourage de la PSH doit la voir comme quelqu'un qui n'abandonne pas l'envie de vivre, qui a envie d'être en mouvement
Inclusion	Eviter l'isolement de la personne dû à l'impossibilité de marcher

	Permettre l'autonomie pour la réalisation des activités quotidiennes

Tableau 48 – Définitions de la Valeur pour les VNM

Les différentes alternatives pour les plateformes répondent à l'exigence d'exploration concourante de solutions alternatives. En effet, la décision sur le choix des plateformes a été poussée vers les étapes suivantes, et les options sont :

- Trois plateformes différentes : (i) les cannes, (ii) les béquilles et (iii) les cadres ;
- Deux plateformes différentes : (i) les cannes et béquilles, et (ii) les cadres ;
- Une plateforme : (i) les DAM.

Nous avons construit un ensemble de profils utilisateurs qui change de manière continue entre les variables « base de support » et « décharge de poids », et nous les avons croisés avec les catégories de produits de la famille de DAM (voir Figure 84). Cette proposition nous permet d'avancer dans les prochaines étapes, sur la proposition de plateformes permettant la standardisation du produit à travers la structure transversale présentée dans le Tableau 47.

Ainsi, les trois principes du modèle de conception sont respectés et nous pouvons passer à l'étape suivante du processus de conception des DAM.

4.2.2 La Définition des Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM)

La deuxième étape de la conception des DAM a pour but de Définir des concepts alternatifs pour les DAM en cours de conception. Pour la concrétisation de cet objectif, l'étape prévoit les activités de modélisation des fonctions du DAM, y compris les fonctions techniques et d'interaction avec le PA (ergonomiques et esthétiques). Elle prévoit la création de quelques alternatives de solution et d'architectures pour ces produits. Les activités de cette étape sont listées dans la Figure 58 (page 149).

4.2.2.1 Modélisation fonctionnelle, ergonomique et esthétique des DAM

A partir de l'analyse des exigences issues de l'étape de Découverte, nous avons listé les fonctions techniques (transformation, structurelles et additionnelles) et les fonctions d'interaction (ergonomie et esthétique) pour tous les DAM, en utilisant notamment l'idée de plateforme unique pour les cannes, les béquilles et les cadres. Celui-ci est le niveau d'abstraction le plus élevé pour la réflexion sur les DAM. Ainsi, cette activité correspond à la jonction des activités présentées dans les Sections 3.4.2.1 et 0 et représentées par la Figure 60.

Les DAM ne possèdent pas de fonction de transformation réalisée par des mécanismes internes, comme c'est le cas pour un moteur. Ainsi, les fonctions de transformation de ces dispositifs sont définies par rapport aux utilisateurs en situation de handicap, autrement dit liées à la transformation de la condition de base de la personne. Les DAM servent alors pour **changer ou garder la position du corps**

(par exemple, se mettre ou rester assis ou debout) et ainsi pouvoir réaliser toutes les phases d'une marche en équilibre dans les différents lieux souhaités.

La réalisation de cette transformation de l'état de la personne est étroitement liée à l'utilisation de ses membres supérieurs comme partie prenante de la marche. Aux travers des bras qui manipulent les DAM, la personne peut atteindre une base de support plus importante ou décharger le poids de son corps et soulager les jambes. En effet, pour la réalisation de cette fonction, quelques fonctions structurelles et additionnelles sont nécessaires, comme le montre la Figure 88.

Les DAM sont des produits normalement composés d'une structure assez importante par rapport à la totalité du PA. En revanche, cette structure peut être considérée comme assez simple par rapport à d'autres PA d'aide à la mobilité comme les véhicules motorisés ou non. De plus, nous pouvons considérer que l'esthétique de la structure constitue la signature visuelle du dispositif.

La réalisation physique des fonctions structurelles nécessite une tige, un cadre ou un chariot pour « le prolongement des bras » jusqu'au sol. Les fonctions additionnelles sont liées aux dispositifs de contrôle et d'information du PA, donc à son ergonomie physique. A cet effet, nous vérifions qu'un ajustement de taille et qu'une prise en main adéquate peuvent augmenter l'efficacité de déplacement et assurer à la PSH la réalisation de l'activité de manière sécurisée.

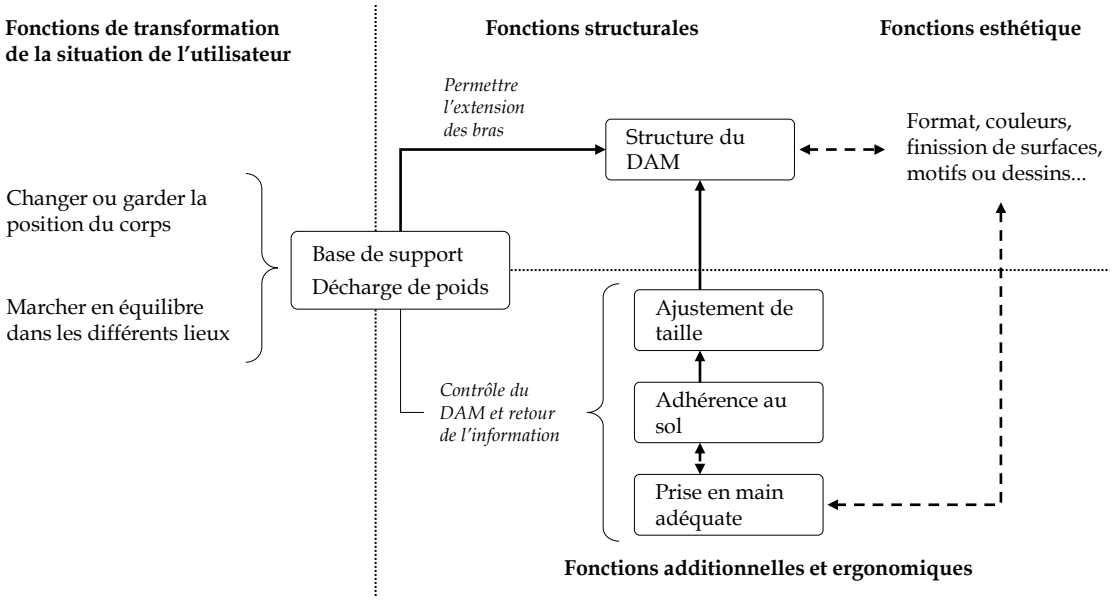


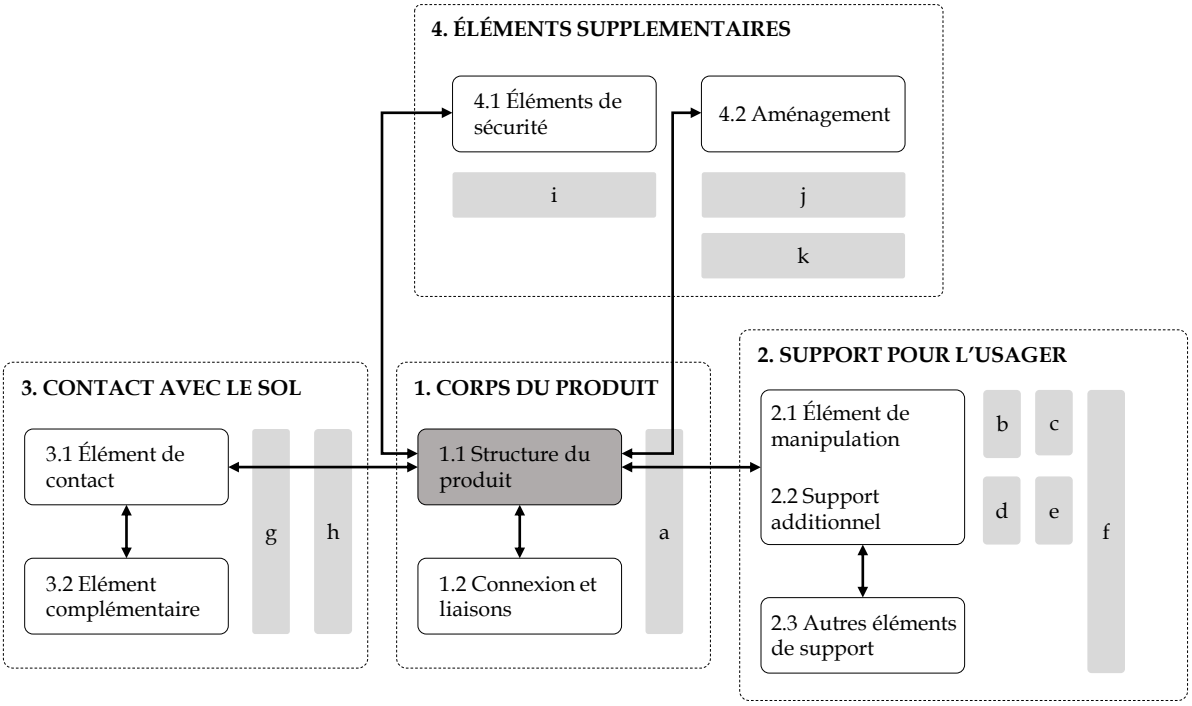
Figure 88 – Modélisation fonctionnelle des DAM

En revanche, parfois, l'utilisation d'un DAM est liée à un événement qui a des impacts sur la capacité cognitive de la PSH : un accident vasculaire cérébral ou une autre situation peut avoir des impacts sur la mobilité et aussi sur les capacités cognitives. Ainsi, toutes les fonctions listées dans la Figure 88 doivent être considérées lors de la recherche de solutions pour les DAM, y compris ces facteurs cognitifs.

4.2.2.2 *Alternatives de solution et architecture des DAM*

La création d'alternatives de solution pour les DAM en conception a été initiée par le croisement entre les types de fonctions décrits dans la section précédente et les différents systèmes listés dans la structure transversale proposée pour ces produits dans le Tableau 47 (page 187) : le Corps, les Supports, le Contact avec le sol et les Eléments supplémentaires. En outre, nous avons aussi utilisé la sous-classe « Accessoires » pour les DAM, comme une façon de faire des propositions intégrées à architecture de ces PA. Le résultat de ce travail est montré dans la Figure 89.

Les fonctions structurales et esthétiques sont plutôt concentrées dans le Corps du DAM. Ces structures peuvent être constituées de tubes de profil rond, soit pour l'assemblage des tiges, soit pour l'assemblage de cadre. Comme montre la Figure 89, le corps du produit est constitué également des liaisons et des connexions auxquelles nous avons associé la catégorie d'accessoires pour régler la hauteur des déambulateurs et des cadres de marche. En effet, ce réglage est habituellement réalisé grâce à des tubes qui coulissent l'un à l'intérieur de l'autre et fixés par un mécanisme de blocage (pion d'indexage par exemple).



ACCESSOIRES POUR LES DAM

a. Accessoires pour le régler la hauteur des déambulateurs et des cadres de marche
b. Accessoires pour aider à manœuvrer les aides à la marche
c. Produits pour tenir correctement les aides à la marche
d. Sièges pour aides à la marche
e. Accessoires pour aides à la marche fournissent un soutien à des parties spécifiques du corps
f. Coussinets, coussins et autres accessoires pour aides à la marche permettant d'éviter les lésions de la peau
g. Embouts pour aides à la marche
h. Pneumatiques et roues pour aides à la marche
i. Dispositifs d'éclairage et dispositifs de signalement de sécurité pour aides à la marche
j. Produits pour faire tenir en place les aides à la marche lorsqu'elles ne sont pas utilisées
k. Accessoires attachés aux aides à la marche permettant de porter ou de transporter des objets

Figure 89 – Structure transversale pour les DAM et ses accessoires

Plusieurs options de conception ont été imaginées pour ce système structural. Nous avons pris la décision d'une structure tubulaire unique pour les cannes et béquilles (tiges) et une autre pour les cadres, mais qui récupère cependant un maximum de composants possible des tiges. Enfin, la décision sur le réglage de la hauteur de la position (pour l'ajustement de taille) a été repoussée vers l'étape suivante de Développement de manière à avoir plus d'informations sur chaque option.

En ce qui concerne les fonctions de contrôle du DAM et le retour d'information sur les paramètres de la marche, nous y avons associé les systèmes de Support et le Contact avec le sol. Au premier système nous associons les accessoires « b » à « f » (voir Figure 89). En effet, les éléments de manipulation sont dédiés au support à la manœuvre les aides à la marche et aux produits pour tenir correctement les aides à la marche ; le Support additionnel contenant les Sièges pour les aides à la marche et les accessoires pour les aides à la marche fournissent un soutien à des parties spécifiques du corps ; finalement, tous les sous-systèmes peuvent être recouverts par des coussinets, coussins et autres accessoires pour les aides à la marche permettant d'éviter les lésions de la peau. La décision prise dans cette proposi-

tion est de laisser les supports connectés aux structures du DAM à partir d'éléments qui permettent leur changement selon le choix des utilisateurs. De plus, il a été décidé que les interfaces utilisées placer ces supports seraient les mêmes que celles utilisées entre les tubes coulissants (dans la mesure du possible).

En revanche, le contrôle de la marche est aussi associé à l'adhérence du DAM avec sol et aux retours d'information fournis pour configurer le DAM par rapport à l'état du sol (irrégularités, obstacles, possibilité de glissement, etc.). Le système Contact avec le sol comporte les accessoires embouts, pneumatiques et roues pour les DAM. La décision du type de contact va dépendre du type de DAM qui doit être assemblé. La décision prise dans notre cas d'étude a été de conserver les mêmes diamètres de tubes pour l'assemblage de n'importe quel accessoire (embouts, roues ou pneumatiques).

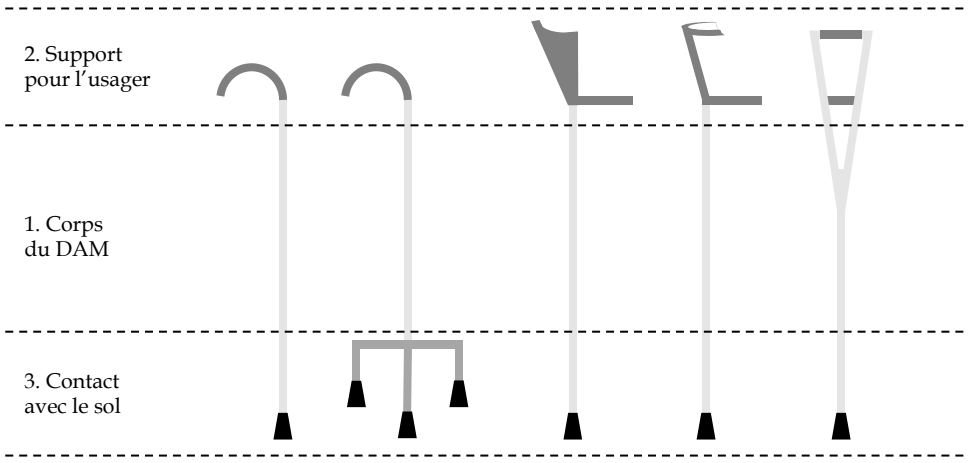


Figure 90 – DAM manipulés par un bras

Enfin, les Eléments supplémentaires ne sont pas obligatoirement présents dans la constitution du DAM, mais ils peuvent en faire partie sous forme d'accessoires comme pour la sécurité de l'utilisateur (dispositifs d'éclairage et de signalement), pour le rangement du DAM, pour faire tenir en place les PA lorsqu'ils ne sont pas utilisés et pour porter ou de transporter des objets. Dans ce contexte d'éléments supplémentaires, la décision prise est d'utiliser au maximum des produits destinés au grand public et qui peuvent s'adapter à l'usage. Comme résultat de ces analyses ou repoussées vers les autres étapes, nous avons esquissé des alternatives d'assemblage des DAM manipulés par un et deux bras, montrées respectivement dans les Figure 90 et Figure 91.

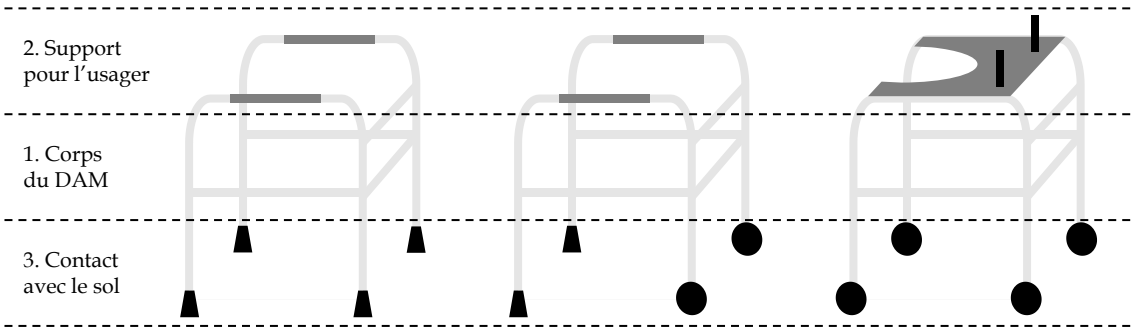


Figure 91 – DAM manipulés par les deux bras

Nous pouvons de plus affirmer que la proposition d'architecture des DAM est flexible aux changements et tout à fait en accord avec la proposition d'une Architecture Arborescente (Figure 65). En effet, les supports et les contacts avec le sol peuvent être changées et les structures sont conservées ou complétées selon des profils des PSH et du DAM souhaitée. De plus, quelques Eléments supplémentaires peuvent être ajoutés.

4.2.2.3 Activités de transition : de la Définition vers le Développement des DAM

Suite à la réalisation des activités liées à l'étape de Définition, nous avons travaillé à la transition vers l'étape de Développement. Pour cela, nous avons encore une fois procédé à la documentation et à l'évaluation des résultats selon les principes de conception : le processus centré sur la valeur pour l'utilisateur, l'exploration concourante de solutions alternatives et la standardisation du produit et du processus. Tout d'abord, pour la vérification de l'attention donnée aux dimensions de la valeur, nous avons pris les indications de Tableau 48 (page 191) pour comparer avec les résultats de l'étape. De plus, quelques leçons apprises lors de la réalisation de l'étape nous ont aussi servi pour l'amélioration du modèle de conception présenté dans le Chapitre 3.

En ce qui concerne la définition de l'Essence du DAM, les activités de cette étape ont indiqué que l'esthétique du produit joue un rôle important sur la sensation de sécurité ou de robustesse du produit ressenti par l'utilisateur. En effet, les décisions concrètes sur les matériaux, les dimensions et d'autres éléments qui assurent la résistance du DAM aux sollicitations mécaniques ont été poussées vers l'étape de Développement. En revanche, puisque l'Esthétique du DAM sera fortement liée à sa structure, les décisions techniques devront être prises avec une attention particulière liée à la signature visuelle souhaitée pour le produit.

L'étape de Définition s'est focalisée principalement autour de l'Utilité (fonctions de transformation), notamment pour une progression de la marche sur différentes surfaces. La dimension de l'Utilisabilité (fonctions additionnelles) est très attachée à cette dernière. Dans ce cadre, nous avons défini quelques critères pour le DAM, comme l'exigence d'un poids et une prise en main adéquates pour une manipulation aisée et sécurisée.

Les dimensions de l'Essence, de l'Esthétique, de l'Utilité et de l'Utilisabilité ont été définies pour le(s) plateforme(s) des DAM. Enfin, pour les dimensions de la valeur liées à l'Image et à l'Inclusion, l'étape réalisée s'est concentrée sur la possibilité d'accompagnement des changements de profil de besoins d'équilibre et de décharge de poids lors de la marche. A cet effet, un DAM modulaire dont les utilisateurs peuvent assembler cannes, béquilles ou cadres selon l'évolution de leurs besoins et avec les mêmes modules, permet le maintien de l'autonomie et évite l'isolement.

Finalement, l'étape de Définition a été guidée par les principes d'explorations d'alternatives et de standardisation du produit. Les décisions prises et celles repoussées ont permis de progresser dans le processus de conception tout en laissant une marge de manœuvre importante pour que de nouvelles alternatives soient ajoutées, fusionnées ou éliminées au fur et à mesure que la conception avance. De plus, cette ouverture a été faite dans le cadre d'une standardisation qui facilite la transversalité d'utilisation de solutions et de modules entre les DAM et qui permet même d'envisager une plateforme unique pour ces produits. En raison de tous ces arguments, nous pouvons passer à l'étape de Développement qui sera présentée dans la prochaine section.

4.2.3 Le Développement des Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM)

L'étape suivante du processus de conception est le Développement des DAM, étape responsable de la conception de tous les détails finaux des produits ciblés dans le cas d'étude. Pour cela, il a été important de développer les composants et les indications pour la fourniture de différentes parties des produits. Dans cette étape, nous avons de plus réalisé le prototypage de quelques DAM avec l'objectif d'optimiser leur conception, en faisant converger les alternatives de solutions. Finalement, les décisions et résultats ont été documentés sous la forme de rapports de cas d'étude.

4.2.3.1 Détail des systèmes et fourniture de parties

L'activité commence par l'analyse des décisions prises et des aspects à définir pour la conception des DAM. Dans ce contexte, nous avions la proposition d'une plateforme pour les DAM manipulés par un bras et d'une autre plateforme pour ceux manipulés avec deux bras. Nous avions en plus de la possibilité de réutiliser des parties de la structure des premiers dans les seconds. Nous ajoutons à cela la structure transversale composée de quatre Systèmes dont trois sont obligatoires (le corps du produit, le support pour les utilisateurs et le contact avec le sol) et un est optionnel (les éléments supplémentaires).

Pour le développement des structures des DAM, nous avons commencé par définir celles qui seraient composées de tubes coulissants connectés entre eux grâce à des liaisons. Ainsi, il a été nécessaire de développer une spécification de ces liaisons connectant les tubes entre eux et pouvant aussi connecter les tubes avec les autres Systèmes (Contact avec le sol, Support pour l'usager et Eléments supplémentaires). Dans les deux cas, ces liaisons sont les mêmes, ce qui permet l'augmentation de la variété de PA de manière contrôlée. Nous avons aussi défini que les DAM manipulés par un bras seraient proposés en modèles pour enfants et pour adultes, impliquant quatre longueurs de tubes pour composer les deux tailles de structure de cannes et de béquilles.

Nous avons réussi à réutiliser les quatre tubes définis précédemment de manière à compléter les structures proposées : pour la structure recevant le siège dans une canne-siège, dans les bases pour les

cannes de marche avec trois pieds ou plus, pour la composition des supports additionnels dans les béquilles et dans la structure de cadres.

Figure 92 – Structure des DAM manipulés par un bras (adulte)

Par rapport aux liaisons entre les tubes coulissants, quelques options techniques ont été analysées comme les systèmes de goupilles, de blocage par vis, de blocage par rotation des tubes, les colliers de serrage, les tubes télescopiques, etc. En effet, nous avons choisi la solution en fonctions de sa simplicité, de la sécurité en ce qui concerne au maintien du blocage, de la précision dimensionnelle, de la possibilité d'utiliser le système de blocage entre les tubes et avec les autres parties du DAM comme les éléments de manipulation (versatilité). Le Tableau 49 montre un comparatif entre les options et les raisons pour lesquelles nous avons choisi le système de goupille.

Systèmes de blocage	Maintien du blocage	Précision dimensionnelle	Versatilité du système
Vis	Bon maintien du blocage des tubes dans les mesures souhaitées	L'existence de trous dans la structure est nécessaire. L'ajustement des dimensions sera approximatif, malgré la stabilité	Versatile, en pouvant être utilisée entre les tubes et pour les éléments de manipulation
Collier de serrage	Le maintien du blocage exige l'emploi d'une force importante par l'utilisateur et d'outils	La connexion est précise et stable. En revanche, elle demande des tubes plus rigides, en ayant une incidence sur le poids final du produit	Versatile, en pouvant être utilisée entre les tubes et pour les éléments de manipulation
Goupilles	Bon maintien du blocage des tubes dans les mesures souhaitées	L'existence de trous dans la structure est nécessaire. L'ajustement des dimensions sera approximatif, malgré la stabilité	Versatile, en pouvant être utilisée entre les tubes et pour les éléments de manipulation
Blocage par rotation	Le maintien du blocage est très sujet aux usures dues à l'utilisation continue	La connexion est précise	Le système ne peut être utilisé qu'entre les tubes
Tubes télescopiques	Le maintien est très fragile et dépendant d'un élément additionnel pour le blocage du DAM en sécurité	Les dimensions possibles sont dépendantes des tailles de chaque éléments qui le compose	Le système ne peut être utilisé qu'entre les tubes

Tableau 49 – Comparatif entre les options pour les systèmes de blocage entre tubes

Un des critères les plus importants pour le choix du système de blocage a été la possibilité de l'utiliser entre les tubes, pour la fixation des éléments de manipulation et également pour la fixation de quelques éléments de contact avec le sol. Nous avons choisi un système aves goupilles symétriques pour fixer les éléments de manipulation et de contact avec le sol ; et un système une goupille unique entre les tubes coulissants. La Figure 93 montre le système de goupilles symétriques choisi.

Figure 93 – Système de blocage des tubes pour les DAM

Ensuite, nous sommes passés à la conception des éléments de manipulation pour les cannes et les béquilles. Nous avons proposé sept types de poignées pour les cannes (Figure 94). Elles seront connectées à la structure des cannes avec le système de liaison choisi. Ensuite, à partir de la poignée *offset* (Figure 94e), nous avons développé trois types de supports additionnels pour les béquilles : avant-bras, coude ou axillaire (Figure 95 a, b et c). Ces supports sont complémentaires aux poignées de manipulation, ajoutant plus de stabilité pour la PSH. Ils sont ajoutés à la structure par l'intermédiaire d'une pièce de liaison. En plus de la poignée *offset* et de cette liaison, les supports de coude et axillaire demandent une structure de canne de taille enfant pour son assemblage (Figure 98d, e et f).

(a) Poignée Derby | (b) Poignée Droite | (c) Poignée Totale | (d) Poignée York | (d) Poignée Ronde | (e) Poignée Offset | (f) Poignée Offset-ronde

Figure 94 – Poignées pour les DAM manipulés par un bras : cannes

Finalement, nous avons aussi développé d'autres supports additionnels comme le siège pour les cannes (Figure 95d) et la table avec poignées pour les Tables de Marche (Figure 95e). En effet, en cours de conception nous avons aussi décidé de retirer les Chaises de Marche de notre éventail de DAM en raison des grandes différences entre la structure de ces produits et des autres cadres de la plateforme.

(a) Suppor avant-bras | (b) Support coude | (c) Support Axillaire | (d) Siège pour les cannes-siège | (e) Tables pour les cadres

Figure 95 – Supports additionnels pour les DAM

L'étape suivante de la conception concerne les pièces de liaison entre les tubes et la fixation des supports additionnels des béquilles. Ceci concerne la construction les cadres pour les DAM manipulés par les deux bras et la construction de quelques options de contact avec le sol. La Figure 96 montre des

pièces qui servent de connecteurs pour la base d'embouts de cannes avec trois pieds ou plus (a), une pièce connecteur à angle réglable pour les béquilles (b), deux connecteurs pour la structure de cadres (c et d) et deux pièces pour la connexion des tables à la structure des cadres (e et f).

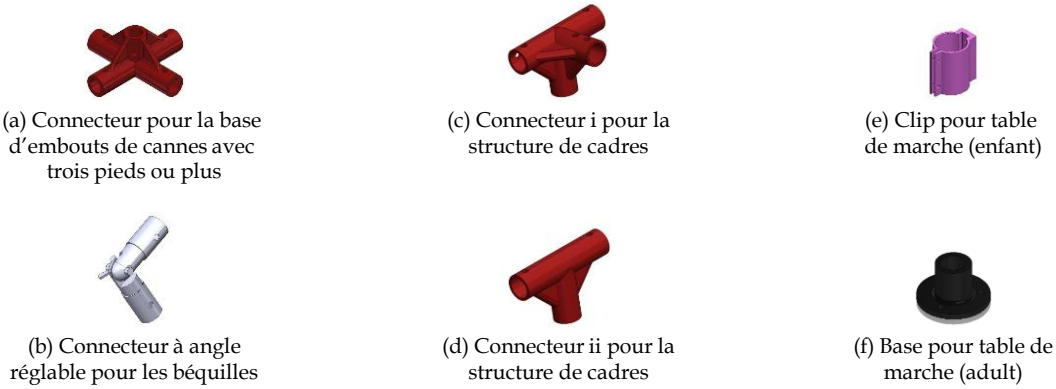

(a) Connecteur pour la base d'embouts de cannes avec trois pieds ou plus
(c) Connecteur i pour la structure de cadres
(e) Clip pour table de marche (enfant)
(b) Connecteur à angle réglable pour les béquilles
(d) Connecteur ii pour la structure de cadres
(f) Base pour table de marche (adult)

Figure 96 – Eléments de liaison des structures des DAM

Les composants des DAM responsables du Contact avec le sol ont été choisis à partir de la réutilisation totale de produits disponibles sur le marché. Cela comprend aussi des produits qui ne sont pas conçus dans le cadre du handicap, par exemple les embouts, les roues et les pneumatiques. Nous avons développé les dessins CAO de ces éléments pour pouvoir assembler les DAM finaux dans un processus de prototypage virtuel, comme montre la Figure 97.

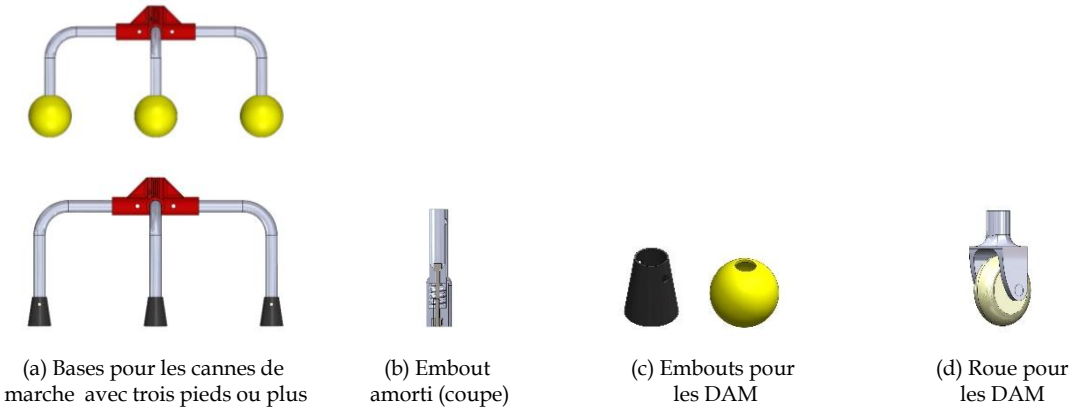

(a) Bases pour les cannes de marche avec trois pieds ou plus
(b) Embout amorti (coupe)
(c) Embouts pour les DAM
(d) Roue pour les DAM

Figure 97 – Contacts avec le sol : embouts et roues pour les DAM

La même décision a été prise pour les éléments supplémentaires de sécurité ou pour les aménagements des DAM. Nous n'avons pas mobilisé ces éléments lors de la conception parce qu'ils ne font pas partie de la composition du dispositif lui-même. En outre, ils peuvent être achetés parmi les produits destinés au grand public comme les accessoires d'éclairage, de signalisation et de sécurité utilisés par les cyclistes en général. Finalement, à partir des composants développés, nous avons réalisé l'assemblage des cannes et béquilles comme le montre la Figure 98.

(a) Canne de marche | (a) Canne de marche avec trois pieds ou plus | (c) Canne-siège | (d) Béquille d'avant-bras | (e) Béquille de coude | (f) Béquille Axillaire

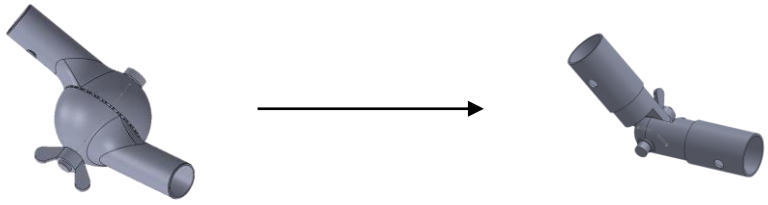
Figure 98 – DAM manipulés par un bras : cannes et béquilles assemblées

L'assemblage des cadres est présenté en la Figure 99. Nous observons la réutilisation de la poignée offset pour la composition des trois béquilles proposées (Figure 98, d, e et f) et aussi pour les cadres (latéral, de marche et le déambulateur).

(a) Cadre latéral | (b) Cadre de marche | (c) Déambulateur | (d) Table de marche

Figure 99 – DAM manipulés par les deux bras : cadres assemblés

Cet assemblage virtuel des produits nous a permis de visualiser quelques points d'amélioration et de simplification de la conception de pièces avant de réaliser le prototypage physique des DAM. La Figure 100 présente l''amélioration de la pièce initialement conçu et qui a évoluée jusqu'à la version présentée dans la Figure 96b.



Pièce originale Pièce amélioré

Figure 100 – Prototypage virtuelle et l'améliora7tion de pièces

Ensuite, le prototypage physique pour l'optimisation des DAM nous a demandé toute une prévision sur l'achat et la fabrication interne des composants. La solution pour les éléments structuraux était pour l'achat des tubes qui seraient coupes, percés et pliés selon les besoins des produits. Ensuite, les contacts avec le sol ont été achetés, sauf quand il demandait une partie structurelle (comme dans le cas de la Figure 97a), où la solution était la même utilisée pour la structure du DAM. Enfin, les supports ont été fabriqués internement à partir des processus de prototypage rapide en plastique (Impression 3D) et de Stratoconception. Les éléments de liaison utilisés dans les structures de cadre ont été aussi prototypes en impression 3D. En revanche, la décision finale sur ces composants a été de les choisir à partir de catalogues de fabricants de ce type de pièce.

La construction de ces prototypes physiques nous a aussi permis la réalisation de quelques améliorations dans les DAM. Un exemple de ce type d'amélioration a été la réduction de la quantité de trous dans le tube extérieur des tiges une fois que nous nous sommes aperçus de la possibilité de faire deux ou trois trous dans le tube à qui coulisse à l'intérieur du premier. Cela ajoute le besoin d'un autre système de connexion avec des goupilles pour les deux tubes, mais réduit de manière significative la quantité de trous à percer dans le tube externe. Autre exemple d'amélioration est l'évolution du concept des tables pour les tables de marche, comme montre la Figure 101. Les dimensions (épaisseur), le poids et le système de réglage de la distance entre les poignées a été complètement simplifiés.

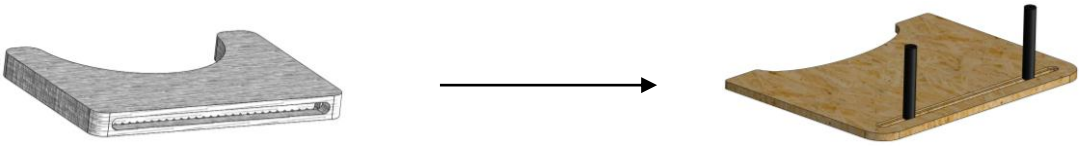


Table originale Table améliorée

Figure 101 – Amélioration des tables pour les Tables de Marche

La Figure 102 présente quelques DAM prototypés, notamment les cannes de marche à un ou à trois pieds ou plus et la canne-siège. Nous remarquons aussi les cadres (d) que nous pouvons configurer comme cadre de Marche, déambulateur et table de marche.

(a) Cannes de marche

(b) Canne à 3 pieds ou plus

(c) Canne-siège

(d) Cadres

Figure 102 – Prototypes des cannes de marches

Finalement, l'activité de documentation, dans la forme qui est proposée dans la Section 3.4.3.4, demandant des indications du produit pour la fabrication et l'assemblage, pour les fournisseurs, pour certification et brevets et pour les utilisateurs est plutôt contextualisée dans un environnement d'entreprise. De notre côté, étant focalisés sur le déroulement de la démarche de conception et de ses résultats, notre documentation s'est restreinte aux rapports de stage et de recherche nécessaires pour l'analyse des résultats et du modèle de conception.

4.2.3.2 Activités de transition : du Développement vers la Distribution des DAM

Suite à la réalisation des activités liées à l'étape de Développement, nous avons travaillé à la transition vers l'étape de Distribution selon l'adéquation des résultats par rapport aux dimensions de la valeur pour les PSH ciblés dans la conception. De plus, nous vérifions si le processus de création de solution a suivi le principe d'exploration concourante de solutions alternatives et si les solutions finales sont fixées selon une standardisation qui permet l'obtention d'une bonne efficacité des processus de fabrication et d'assemblage.

L'analyse des solutions proposées nous indique que les aspects positifs des DAM conçus sont concentrés sur les dimensions d'utilité, d'utilisabilité et d'inclusion des PSH dans la société. L'utilité concerne l'augmentation de la BOS de la personne, pour permettre par exemple une récupération suite à un accident. L'utilisabilité est plutôt notre priorité pour la construction d'un produit léger et pour la possibilité de proposer des éléments de manipulation selon la préférence de l'utilisateur. En outre, les DAM permettent l'inclusion des PSH à partir de la réalisation des activités de la marche. Les autres dimensions de la valeur considérées comme moins importantes dans les résultats de la conception ne nous empêchent pas d'avancer dans le cas d'étude, car l'aspect le plus important était la contribution à l'amélioration du modèle de conception de PA proposé dans ce travail.

Ensuite, nous avons vérifié que les produits conçus, malgré leur adaptabilité à plusieurs situations pour lesquelles ils sont utilisés, suivent une logique de standardisation de leurs composants. Finalement, laisser les alternatives ouvertes et les analyser de manière concourante a été important pour l'obtention de solutions qui peuvent être partagées entre plusieurs produits de la famille.

4.2.4 La Distribution des Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM)

La dernière étape de la conception est la Distribution, où les acteurs sont plutôt des ingénieurs de processus qui font l'interface entre l'entreprise et les PSH. Les activités prévues pour cette étape sont présentées dans la Section 3.4.4 et la préoccupation est focalisée sur la fabrication et l'assemblage, l'emballage et la logistique, la vente et l'après-vente des DAM.

En ce qui concerne la fabrication, il est important d'observer que tous les aspects de conception ont permis d'anticiper les impacts des décisions prises pour une meilleure efficacité des processus de fabrication et d'assemblage. Ainsi, nous avons essayé de réduire la variété des technologies de fabrication nécessaires ou de déplacer la fabrication vers un fournisseur de pièces standards. La Figure 103 présente un flux de fabrication hypothétique avec les opérations nécessaires à la fabrication des DAM. Dans cette représentation nous avons placé les systèmes et sous-systèmes obligatoires pour la composition du PA. L'opération entourée par une ligne pointillée indique qu'elle n'est nécessaire que pour la réalisation de certains modules.

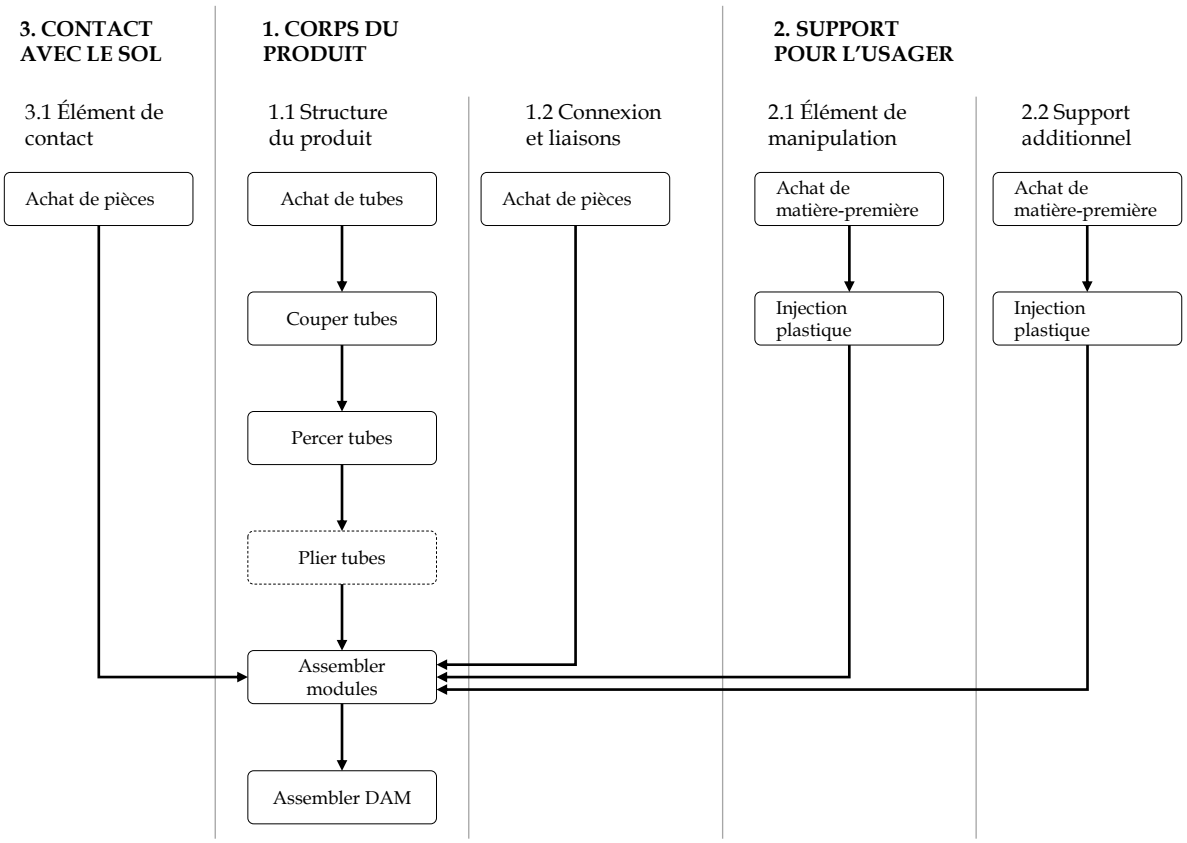


Figure 103 – Processus de fabrication et assemblage de DAM

Les DAM ne sont pas des produits qui exigent beaucoup de soin en termes d'emballage. Ainsi, nous ne nous sommes pas concentrés sur cet aspect. De plus, les aspects liés aux canaux de distribution et aux processus logistiques ne sont pas au centre de nos préoccupations dans ce cas d'étude réalisé. En revanche, nous avons souligné son importance dans le cadre de la distribution des PA en général.

Ainsi, nous tenons à apporter quelques réflexions sur une possible **approche de ventes et de surveillance d'après-vente des DAM.** La constitution des produits conçus tout au long de ce cas d'étude est tout à fait compatible avec la proposition d'un système de produit-service. Un tel type de système est défini « comme la conception et la combinaison de produits tangibles et de services intangibles qui conjointement sont capables de remplir les besoins des consommateurs » [189].

- Ayant conscience du caractère d'usage transitoire des DAM, une approche d'association de sa distribution aux services de santé peut consister une façon de bien cibler les dimensions de la valeur et de faire évoluer le produit à partir de l'adjonction ou soustraction des modules qui vont former une canne, béquille ou cadre de marche selon les besoins évolutifs des PSH.
- Un suivi plus efficace des produits utilisés peut également être mis en place par la création de canaux de communication spécifiques. A partir de problèmes rencontrés par les usagers et par la mise en place d'ateliers de co-conception et de réparation, les contacts avec la société et aussi avec les concepteurs de ces produits permettent de les faire évoluer en identifiant des propositions à incorporer.

4.2.5 Considérations finales sur le cas d'étude sur les DAM

Tout au long de cette Section 4.2 nous avons présenté les résultats des étapes et activités de conception des DAM, notamment les cannes, les béquilles et plusieurs types de cadres de marche. Les produits de cette famille de PA à la mobilité personnelle sont indiqués pour les PSH pouvant marcher, mais qui présentent quelques troubles liés à ces actions motrices, comme un manque d'équilibre ou une faiblesse des membres inférieurs.

Lors de la réalisation de ce cas d'étude, le modèle de référence pour la conception de PA n'était pas configuré dans sa version exposée dans le Chapitre 3. En fait, ce cas nous a permis de visualiser quelques avancements à faire dans le contenu de la proposition des étapes et des activités de conception et aussi sur la manière mettre en application les principes de conception. Enfin, le cas d'étude a été organisé dans cette Section 4.2 sur un format le plus proche possible de la configuration finale du modèle de conception.

Finalement, suite au déroulement des étapes de conception des DAM, nous avons effectué une étape d'analyse pour l'amélioration du modèle. La mise à jour de la proposition a inclus une nouvelle exploration de la littérature et une nouvelle modélisation pour le processus. Cette nouvelle version du modèle a été appliquée dans un deuxième cas d'étude concernant la famille des Véhicules non-motorisés (VNM), présenté dans la section ci-dessous. Cette expérimentation s'est concentrée sur les deux étapes initiales du modèle de conception (Découverte et Définition), car elles sont les étapes dans lesquelles les concepteurs ont plus d'influence sur les attributs du PA et parce que nous voulions nous concentrer sur quelques aspects comme par exemple (1) la considération du le contexte d'utilisation du produit et (2) la création et évaluation des alternatives de solution pour le problème de conception.

4.3 VEHICULES NON-MOTORISES (VNM)

Cette section présente le cas d'étude réalisé dans le domaine des VNM. Cette famille de PA est composée de Fauteuils Roulants (FR) manuels, de Cycles, d'Autres véhicules à propulsion humaine (comme les landaus, poussettes ou les fauteuils de transfert) et d'Accessoires pour les FR. Ce cas d'étude a été mené pour préciser principalement les contenus des étapes de Découverte et de Définition, puisqu'elles constituent les phases les plus influentes pour la conception.

4.3.1 La Découverte des VNM

Dans cette première étape, les efforts se concentrent sur la compréhension du problème de conception, notamment sur la détermination des fonctions ou de l'assistance que les VNM doivent fournir, la création d'une connaissance approfondie sur les caractéristiques des utilisateurs, sur les PA déjà présents sur le marché et sur l'environnement d'utilisation. Cette section présente les résultats de cette étape d'exploration dont les détails des activités sont présentés dans la Figure 49, page 141.

4.3.1.1 Détermination des fonctions des VNM

Pour être capable de déterminer le support que les VNM offrent aux utilisateurs, nous initions l'activité avec la Caractérisation de l'utilisation à partir des relations entre la norme ISO 9999 et la CIF. Le Tableau 50 présente ainsi les activités et les participation facilitées à travers l'utilisation de ces produits [184], [185].

Catégories de Véhicules Non-Motorisés (VNM)	Activités et Participations			
	d415	d465	d470	d475
Bicyclettes à propulsion podale				
Tricycles et quadricycles à propulsion podale pour 1 personne				x
Tricycles à propulsion manuelle				x
Tandems, tricycles et cycles à quatre roues pour deux personnes ou plus				x
Adaptations pour cycles				x
FR manuels, manœuvrés par les deux mains	x	x		
FR à leviers	x	x		
FR à propulsion manuelle unilatérale	x	x		
FR à propulsion podale	x	x		
FR manuels manœuvrés par une tierce personne	x	x		
Fauteuils de transfert	x	x		
Landaus et poussettes	x	x		
Crawleurs et planches à roulettes		x	x	
Dispositifs de mobilité (manuels) avec un conducteur debout		x	x	

Tableau 50 – Activités et participations facilitées par les VNM [184], [185].

Nous présentons ci-dessous les définitions et les particularités de ces activités et participations ainsi classifiées :

- Garder la position du corps (d415), autrement dit « garder la même position si nécessaire, comme rester assis ou debout au travail ou à l'école », cela inclut rester accroupi, rester à genoux, rester assis (les jambes allongées ou croisées, et les pieds appuyés ou non appuyés) et rester debout. Au contraire, l'activité consistant à rester debout sur une surface inclinée, glissante ou dure ne fait pas partie de ce contexte. Tous les FR manuels sont sensés permettre cette activité, ainsi que les Fauteuils de transfert et les Landaus et poussettes [2], [3], [184].
- Se déplacer en utilisant des équipements spéciaux (d465), ou « déplacer le corps d'un endroit à un autre, sur toute surface et dans toutes sortes d'espaces », en utilisant des équipements particuliers conçus pour faciliter le déplacement ou pour donner des moyens de déplacement nouveaux, comme les planches à roulettes, les skis, un équipement de plongée, ou descendre la rue en fauteuil roulant ou avec un déambulateur. Ce code exclut les autres activités comme se transférer (d430), marcher (d450), se déplacer (d455), utiliser des moyens de transport (d470) ou conduire un véhicule (d475). Tous les FR manuels et autres véhicules à propulsion humaine présents dans le Tableau 50 sont faits pour le déplacement en utilisant des équipements spéciaux [2], [3], [184].
- Utiliser un moyen de transport (d470) fait référence à « être passager, être conduit en voiture ou en bus, en pousse-pousse, à dos d'animal ou en véhicule à traction animale, en taxi privé ou public, en bus, en train, en tram, en avion, en métro, en bateau ». Cela inclut aussi utiliser un moyen de transport à énergie humaine (d4700), utiliser un moyen de transport motorisé privé (d4701) et utiliser les transports en commun (d4702). Le Tableau 50 montre les véhicules applicables à cette activité [2], [3], [184].
- Conduire un véhicule (d475) ou « un moyen de transport de quelque type que ce soit, comme conduire une voiture, rouler en vélo ou piloter un bateau, ou monter un animal ». Ainsi, les activités consistant à conduire un moyen de transport à énergie humaine (d4750), conduire des véhicules motorisés (d4751) et conduire un moyen de transport à traction animale (d4752) sont inclus [2], [3], [184].

La conception de tels produits englobe aussi une série d'aspects légaux et normatifs. Dans cette section nous n'allons pas répéter les aspects légaux (conventions internationales et lois) présentés dans la Section 4.2.1.1 sur les DAM ; ils sont aussi valables pour les VNM. En revanche, sur les aspects particuliers de sécurité des PSH utilisant un VNM, nous avons réalisé une recherche des normes qui doivent être prises en considération tant pour la conception et la validation d'un concept de FR que pour les cycles.

Dans le cadre des FR, nous trouvons un comité technique dans l'ISO, responsable du développement de normes techniques pour la conception et les tests des appareils et accessoires fonctionnels pour les personnes handicapées (ISO/TC 173). Au sein de ce comité se trouve le sous-comité FR (ISO/TC 173/SC 1), dont la liste de normes est présentée en Annexe 2 - Normes pour les Fauteuils Roulants. En outre, nous trouvons aussi un comité technique responsable du développement de normes pour les Cycles et leurs principaux sous-ensembles (ISO/TC 149), dont la liste de normes est présentée en Annexe 3 - Normes pour les Cycles et ses ensembles.

A partir de l'identification des particularités d'utilisation et des documents liés à la conception et aux tests des VNM, nous passons à la définition de plateformes pour ces produits. Pour cela, nous avons étudié les définitions de chaque catégorie de produit.

Nous commençons tout d'abord par les FR manuels. Ils sont définis par la norme ISO 9999 comme « les dispositifs permettant une mobilité sur roues et assurant un soutien du corps des personnes atteintes d'une incapacité à la marche » [2]. Les différentes catégories de FR manuels sont présentées dans le Tableau 51 (les fauteuils à assistance électrique sont exclus).

Fauteuils Roulants Manuels	Définition
Manœuvrés par les deux mains	FR conçus pour être propulsés par l'occupant, par action des deux mains sur les roues ou sur les mains courantes. Les FR à traction par roues avant et ceux à propulsion par roues arrière, par exemple, en font partie
A leviers	FR conçus pour être propulsés par l'occupant par actionnement manuel des leviers
A propulsion manuelle unilatérale	FR conçus pour être propulsés par l'occupant avec une seule main. Les FR à levier unilatéral et à propulsion par les roues conçus pour être manœuvrés par une seule main, à double main courante par exemple, en font partie
A propulsion podale	FR conçus pour être propulsés par l'occupant avec seulement les pieds
Manœuvrés par une tierce personne	FR conçus pour être propulsés et manœuvrés par une tierce personne, en poussant des deux mains sur les poignées du fauteuil.

Tableau 51 – Les catégories de FR manuels avec ses définitions [2]

Nous remarquons que la classification de la norme est construite à partir du critère de propulsion du fauteuil (une ou de deux mains, un ou deux leviers, avec les pieds ou par une tierce personne). Néanmoins, les fauteuils pourraient aussi être classifiés à partir d'autres paramètres, comme le type de cadre ou la structure du produit. Ce regard nous mène à une classification suivante des fauteuils : de cadre pliable ou rigide ; pour l'usage temporaire, sur du long-terme ou pour le confort (Figure 104) ; etc. [190]. Ces classifications se sont montrées utiles pour la détermination des plateformes pour VNM.

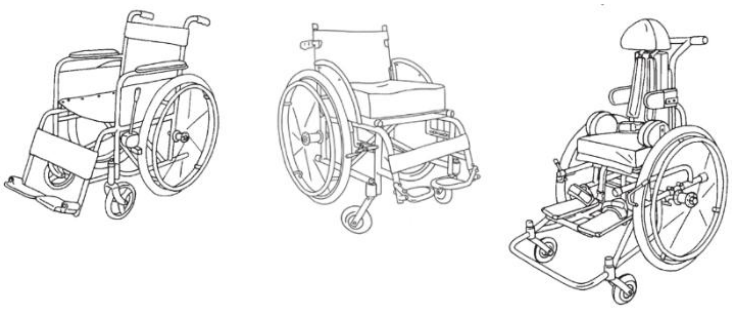


Figure 104 – Types de FR : (a) usage temporaire, (b) usage long-terme et (c) confort [191]

Par ailleurs, nous avons étudié la sous-classe qui présente les Accessoires de FR (Tableau 52). Encore une fois nous nous sommes concentrés sur les catégories qui pourraient avoir une relation avec notre processus de conception. Pour cette raison, nous avons exclu tous les éléments liés à l'assistance électrique ou non liés à la construction du FR.

Accessoires de FR	Définition
Dispositifs d'éclairage et dispositifs de signalement de sécurité pour FR	Dispositifs pouvant être attachés à un fauteuil roulant pour éclairer les alentours ou pour marquer la position du fauteuil roulant. Les drapeaux de sécurité pour FR et les réflecteurs en font partie
Freins pour FR	Dispositifs permettant de ralentir ou de stopper un fauteuil roulant, ou de la maintenir à l'arrêt
Pneumatiques et roues pour FR	Les patins à neige en font partie
Systèmes de retenue de l'occupant du fauteuil roulant	Dispositifs utilisés lorsque l'occupant est assis dans un fauteuil roulant pour lui éviter de glisser ou de tomber du fauteuil. Les ceintures, harnais et vestes, par exemple, en font partie
Dispositifs de protection des FR ou des personnes utilisant les FR contre le soleil ou les intempéries	Les parapluies et les capotes pour FR en font partie
Dispositifs permettant de raccorder un fauteuil roulant à une bicyclette	Les accordements entre un fauteuil roulant et une bicyclette
Dispositifs attachés aux FR permettant de porter ou de transporter des objets	Produits fixés à un fauteuil roulant permettant de transporter un ou plusieurs objets. Les poches, les paniers et les caisses attachés à un fauteuil roulant, ainsi que les porte-cannes, les porte-béquilles et les porte-déambulateurs, en font partie
Dispositifs permettant de surveiller les alentours des FR	Les rétroviseurs et les caméras en font partie

Tableau 52 – Les catégories d'Accessoires de FR manuels avec ses définitions [2]

La sous-classe des Cycles a ensuite été étudiée. Il s'agit des véhicules à roues dont au moins l'une d'elles est motrice. Cette sous-classe contient quelques catégories comme les bicyclettes, tricycles, quadricycles, trottinettes et tandems, comme le montre le Tableau 53.

Cycles	Définition
Bicyclettes à propulsion podale	Cycles pour une personne propulsés par des pédales et comportant deux roues
Bicyclettes à propulsion manuelle	Cycles pour une personne à propulsion manuelle et comportant deux roues
Tricycles et quadricycles à propulsion podale pour une personne	Cycles pour une personne propulsés par des pédales et comportant trois roues ou plus
Tricycles à propulsion manuelle	Cycles à propulsion manuelle comportant trois roues
Tandems, tricycles et cycles à quatre roues pour deux personnes ou plus	Dispositifs propulsés par des pédales comportant au moins deux sièges pour permettre à plus d'une personne de se déplacer
Adaptations pour cycles	Ajouts ou modifications apportés aux cycles pour permettre leur utilisation. Les moteurs auxiliaires et les roulettes, par exemple, en font partie

Tableau 53 – Les catégories de cycles avec ses définitions [2]

Pour compléter le panel de produits de la catégorie, la sous-classe Autres Véhicules à Propulsion Humaine a également été inclue avec ses catégories (Tableau 54). Ce groupe de produits est très large, ainsi nous avons gardé uniquement les catégories de PA de cette sous-classe qui permettaient d'augmenter les possibilités de solutions de conception à partir de plateformes de VNM. De manière générale, les catégories pour lesquelles les produits étaient assez différents des autres sous-classes ou dont l'usage était très spécifique ont été éliminés et nous avons conservé celles qui ont des similarités avec les FR et les cycles.

Une fois les sous-classes et les catégories de produits présentes dans la famille de VNM identifiée, la recherche d'intersections et similarités entre les catégories a pu débuter. La norme ISO 9999 nous

donne quelques pistes à partir des définitions formelles des produits, mais elle contient aussi des suggestions d'intersections entre les catégories.

Autres véhicules à propulsion humaine	Définition
Fauteuils de transfert	Dispositifs permettant de transporter une personne en position assise sur une courte distance, propulsés et manœuvrés par une tierce personne
Landaus et poussettes	Dispositifs sur roues permettant de transporter une ou plusieurs personnes en position allongée ou assise, et conçus pour être manœuvrés et dirigés par une tierce personne.
Luges et traîneaux	Dispositifs montés sur patins, avec ou sans roues, permettant de transporter des personnes sur la glace et sur la neige. Les luges à pousser avec le pied en font partie
Crawlers et planches à roulettes	Dispositifs sur roues sur lesquels une personne est allongée ou assise et se déplace en poussant sur le sol avec les bras ou les jambes
Brancards sur roues, voitures à pédales et chariots de jeu	Les brancards sur roues sont des plates-formes mobiles pour propulser manuellement des personnes allongées; les voitures à pédales sont de petits véhicules ayant la forme d'une voiture; les chariots de jeu, des jouets sur roues, etc.
Dispositifs de mobilité propulsés manuellement par le conducteur debout	Dispositifs propulsés par l'occupant à l'aide des bras et utilisés uniquement en position debout

Tableau 54 – Les catégories d'Autres Véhicules à Propulsion Humaine avec ses définitions [2]

Dans le but de chercher des similarités entre les sous-classes et les catégories qui sont proposées par la norme ISO 9999, nous avons étudié les catégories de Cycles, de FR et d'Autres Véhicules à Propulsion Humaine, ainsi que la catégorie des Accessoires pour les FR. La norme propose également le partage de ces Accessoires entre les Cycles et les FR. Cette constatation nous permet d'agrandir les possibilités de transversalité entre les PA en termes de réutilisation de composants entres les différents types de véhicules. La norme ISO 9999 indique aussi une relation entre les FR et des autres PA de type chaises percées et les chaises de bain ou de douche (avec ou sans roulettes). Enfin, l'ISO propose une liste de PA associée aux Accessoires pour les FR. A partir de toutes ces indications nous avons construit la Figure 105.

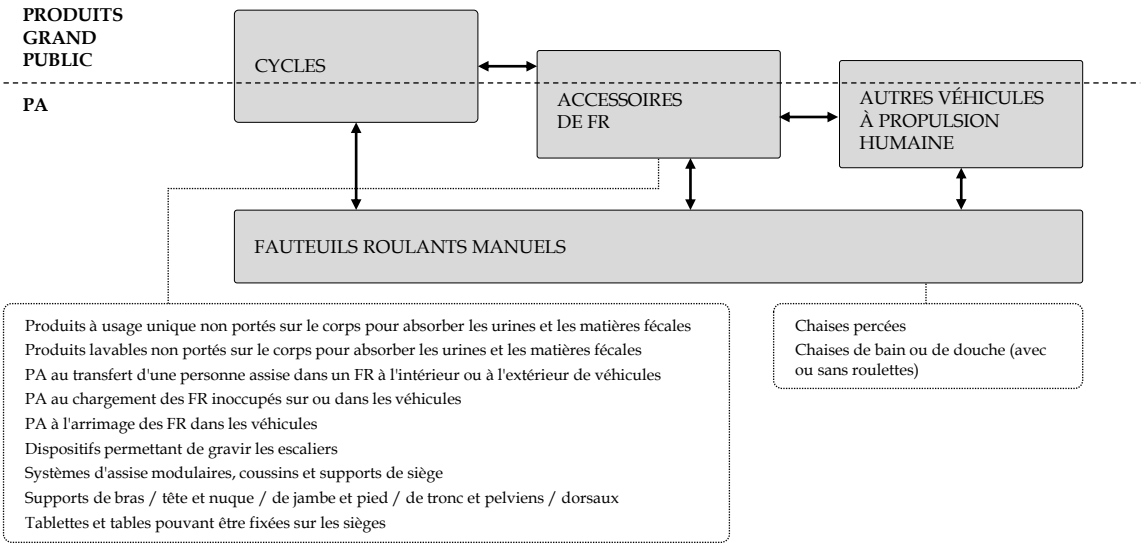


Figure 105 – Croisement de catégories de véhicules non-motorisés [2]

En effet, il a été possible d'observer les points communs entre les FR manuels manœuvrés avec deux mains, les FR à leviers et les FR à propulsion manuelle unilatérale. En fait, les structures de ces produits sont ou peuvent être identiques, tandis que les différences seront observées sur le critère de la propulsion. Les Dispositifs propulsés par le conducteur debout peuvent aussi trouver des points communs avec ces fauteuils. Les FR manœuvrés par une tierce personne peuvent garder la même structure que les FR cités en amont ou être construits avec une approche de FR à propulsion podale. Nous pouvons souligner aussi que ces deux catégories de fauteuils ont des liens intéressants avec les Fauteuils de Transfert et les Landaus et Poussettes qui appartiennent à la sous-classe Autres Véhicules à Propulsion Humaine. La catégorie Autres Véhicules à Propulsion Humaine non reliées aux autres VNM a des similarité avec les poussettes pour les bébés, les skates, des jouets ludiques, etc. Cette analyse est illustrée par la Figure 106.

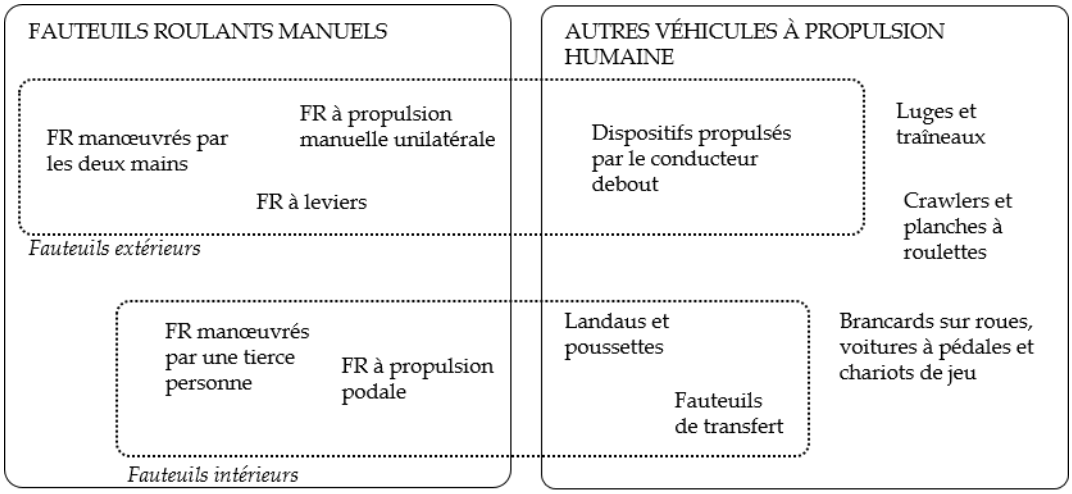


Figure 106 – Intersection entre les sous-classes : FR et Autres Véhicules à Propulsion Humaine

De leur côté, la sous-classe des Cycles constitue un type de produits plus proche des produits « grand public ». Par conséquent, cette sous-classe nous semblait être une clé pour la proposition de réutilisation de pièces entre les VNM et les produits fabriqués à grande échelle. Cette sous-classe est composée de catégories de cycles qui peuvent être classifiées selon quatre paramètres, à savoir : le nombre de roues, le nombre d'usagers, la propulsion utilisée et enfin la position des usagers utilisant les cycles. L'intersection entre ces variables et les catégories de cycles est présentée dans le Tableau 55.

Nombre de roues	**Utilisation**	**Le nombre d'usagers**			
		Une personne		**Tandem (plus d'une personne)**	
		Propulsion podale	**Propulsion manuelle**	**Propulsion podale**	**Propulsion manuelle**
Bicyclettes	Position couchée	*Bicyclettes à propulsion podale*	*Bicyclettes à propulsion manuelle*		
	Position assise				
Tricycles	Position couchée	*Tricycles et quadricycles à propulsion podale pour une personne*	*Tricycles à propulsion manuelle*	*Tandems, tricycles et cycles à quatre roues pour deux personnes ou plus*	
	Position assise				
Cycles à quatre roues	Position couchée				
	Position assise				

Tableau 55 – Variables de constructions des cycles et de ses catégories

Ensuite, nous avons réalisé une analyse des accessoires que la norme ISO 9999 propose pour les FR. Nous avons vérifié qu'avec un élargissement du concept de chaque catégorie, les accessoires pouvaient être utilisables pour tous les VNM. Ainsi, lors de la conception d'un système de freinage, des types de pneumatiques ou des dispositifs d'éclairage et de sécurité pourraient être partagés entre différents véhicules. Le Tableau 56 présente la liste de catégories d'accessoires avec les intitulés réadaptés, en donnant une indication sur la possibilité d'utilisation pour les FR, les Cycles et les Autres Véhicules à Propulsion Humaine.

Accessoires pour les VNM	FR	Cycles	Autres Véhicules à Propulsion Humaine
Dispositifs d'éclairage et de sécurité	x	x	
Freins	x	x	
Pneumatiques et roues	x	x	x
Systèmes de retenue de l'occupant	x		x
Protection contre les intempéries	x	x	
Dispositifs pour raccorder un FR à un cycle	x	x	
Dispositifs pour transporter des objets	x	x	x
Dispositifs pour surveiller les alentours	x	x	x

Tableau 56 – Relation entre les Accessoires et les catégories de VNM

Comme conséquence de cette étude, nous avons proposé une formulation initiale pour les plateformes des VNM. Ainsi, nous avons deux plateformes partagées entre les FR et les Autres Véhicules à Propulsion Humaine (Figure 106) et une base conceptuelle qui indique une transversalité entre les différents Cycles (Tableau 55) et les Accessoires pour les VNM (Tableau 56). Ce sont ces derniers qui font la liaison entre les trois sous-classes de VNM. A partir de cette base, nous pouvons initier l'activité suivante de caractérisation des utilisateurs de ces produits pour la réalisation des activités de Garder la position du corps, de Se déplacer en utilisant des équipements spéciaux, d'Utiliser un moyen de transport et de Conduire un véhicule.

4.3.1.2 Caractérisation des utilisateurs des VNM

Les usagers des VNM ont des profils très variés. Ils peuvent être des PSH en FR, ou des personnes n'ayant aucun problème associé à la mobilité. De plus, ces véhicules peuvent servir également à l'intégration sociale des PSH. Ainsi, dans le cadre des profils des usagers du FR manuel, nous trouvons des individus avec des troubles neurologiques ou génétiques ; des déficits cognitifs ; des pathologies du membre inférieur et du tronc (comme ceux avec des blessures de la moelle épinière) ; ceux qui ont de pertes de force des membres inférieures dû au processus de vieillissement ; aussi bien que des gens qui ont d'autres maladies ou problèmes qui, d'une manière ou d'une autre les ont menés à une situation permanente ou temporaire de paraplégie ou d'hémiplégie [190].

Au contraire, les cycles moins ciblés sur le contexte du handicap sont plutôt développés pour le grand public et quelques modèles sont adaptés à l'usage de personnes avec des problèmes de membres inférieurs, notamment les produits avec propulsion manuelle. D'autres peuvent avoir un objectif de développement de la convivialité obtenue à travers l'utilisation des tandems. En ce qui concerne les usagers des Autres Véhicules à Propulsion Humaine, ils ont généralement des handicaps plus lourds temporaires ou permanents. Quelques-uns des PA de cette catégorie sont utilisés à travers la propulsion faite par une tierce personne.

Nous avons pris la décision de concentrer le cas d'étude des VNM compensant les problèmes de la marche. Dans ce contexte, un grand nombre de PSH touchées sont celles qui ont des problèmes au niveau de la moelle épinière. La condition de l'autonomie d'une PSH est dépendante de l'emplacement de la blessure sur la moelle épinière et la conception d'un VNM peut être faite en fonction de ce critère. Nous pensons qu'une telle approche est bénéfique aussi pour ceux qui ne marchent pas, à cause d'autres raisons.

La moelle épinière constitue avec l'encéphale (le cerveau et le cervelet) le système nerveux central du corps humain. Elle représente le prolongement du cerveau à travers la colonne vertébrale, responsable d'« acheminer de façon bidirectionnelle l'information sensori-motrice entre le cerveau, (centre de commandes) et les régions périphériques de l'organisme (muscles, peau, viscères et autres organes) » [192], [193]. A son tour, la colonne vertébrale est divisée en sections (Figure 107), dont sept vertèbres sont dites cervicales (C1 à C7) et forment la nuque ; douze vertèbres sont appelées dorsales ou thoraciques (T1 à T12) et forment le haut et le milieu du dos ; cinq vertèbres sont lombaires (L1 à L5) et forment le bas du dos ; cinq vertèbres sont sacrées (S1 à S5) et composent le sacrum. Finalement, entre trois et cinq vertèbres se situent dans la partie plus inférieure de la colonne et forment le coccyx. La moelle épinière s'étend entre les vertèbres C1 et L2 de la colonne [192], [193].

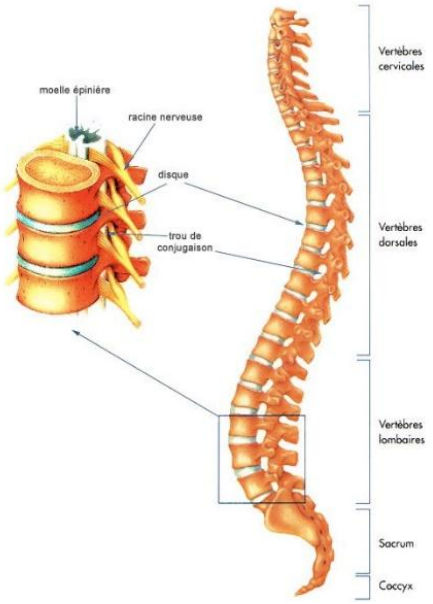


Figure 107 – Classification des vertèbres de la colonne vertébrale [193]

Un total de 31 paires de nerfs naît de la moelle épinière : huit au niveau cervical (de C1 à C8), douze thoraciques (T1 jusqu'à T12), cinq lombaires (L1 à L5), cinq sacrés (S1 à S5) et une au niveau coccygien (C1). Chacun de ces nerfs possède une racine dorsale et une racine ventrale. La première racine contient des fibres transportant l'influx nerveux des récepteurs sensoriels périphériques à la moelle épinière. La racine ventrale contient les fibres transportant les signaux moteurs de la moelle épinière aux muscles. Ainsi, les nerfs spinaux comportent une portion sensitive et une portion motrice [195].

Ces caractéristiques anatomiques, étant données une lésion de la moelle épinière peut avoir plusieurs conséquences pour les personnes. Cette lésion se produit quand un événement (traumatisme ou maladie) cause des dégâts à la moelle épinière de manière à ce que la communication entre le cerveau et le corps se bloque. L'intensité de cette lésion et sa localisation déterminent l'extension des conséquences pour la personne : pertes de mouvements, de sensations, du contrôle de l'intestin et/ou de la vessie, développement d'actions réflexes ou spasmes exagérées, changements dans la fonction sexuelle, la sensibilité sexuelle et la fertilité, douleur ou sensation de brûlure intense [197]. Le Tableau 58 présente les conséquences d'une blessure de la moelle épinière selon la hauteur vertébrale où elle se produit.

De façon complémentaire à la localisation de la blessure, nous devons aussi considérer d'autres aspects liés à l'extension de ces conséquences. Dans ce contexte, l'*American Spinal Injury Association* (ASIA) a développé une nomenclature standardisée de façon à fournir une mesure du statut neurologique et fonctionnel d'une personne ayant une lésion médullaire et les conséquences de la lésion. Celle-ci est basée sur une analyse sensorielle des points clés spécifiques appelés de dermatomes (Figure 108) et aussi de la force musculaire de quelques muscles principaux (ou muscles clés) du corps humain.

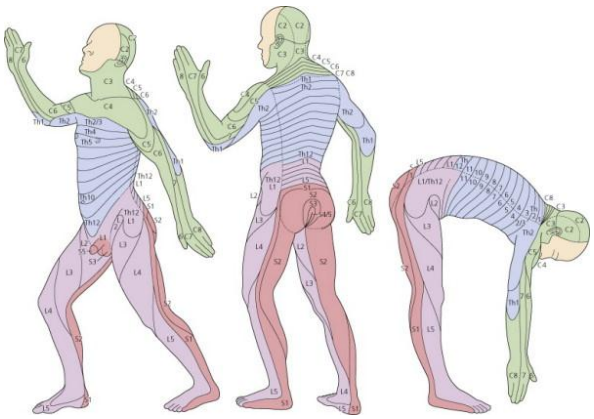


Figure 108 – Dermatomes : les zones cutanées innervées par une racine nerveuse [1]

Ainsi, la méthode se concentre sur les niveaux sensoriels (0 – absent ; 1 – altération, soit une diminution une hypersensibilité ; 2 – normal ; et NT – non testable); sur les niveaux de contrôle musculaire (0 – paralysie totale ; 1 – contraction palpable ou visible ; 2 – mouvement actif, gamme complète de

[1] Souce : http://zizaidermatology.com/wp-content/uploads/2012/02/dermatomes.jpg

mouvement avec suppression de la gravité ; 3 – mouvement actif, gamme complète de mouvement contre la gravité ; 4 – mouvement actif, gamme complète de mouvement contre la gravité et une résistance modérée à une position spécifique du muscle ; et 5 – normal) ; et aussi sur les niveaux neurologique de la blessure, autrement dit, l'extension de la moelle épinière qui a été préservé dans un niveau au-dessus du dégâts.

De cette manière, quand une lésion se produit par exemple dans un nerf situé au niveau de la C6, il n'est pas certain que toutes les conséquences présentées dans le Tableau 58 soient vérifiées. Un certain niveau de sensibilité et aussi de contrôle musculaire pourra être préservé en raison, par exemple, d'une rupture partielle de la moelle épinière. Ainsi, l'échelle de déficience de l'ASIA propose cinq dégrées de lésions possibles, comme est montré dans le Tableau 57.

Echelle de lésion	Description
A (Complète)	Absence totale de fonctions motrices et sensorielles au-dessous du niveau de la lésion, y compris la région anale (segments sacrés S4 – S5)
B (Incomplète au niveau sensoriel)	Certaines fonctions sensitives en dessous du niveau de la lésion, y compris la sensation anale. En revanche, la fonction motrice n'est pas préservée
C (Incomplète au niveau moteur)	Certains mouvements musculaires sont conservés en dessous du niveau de la blessure, mais 50% des muscles en dessous de ce niveau ne peuvent pas se déplacer contre la gravité (grade de niveau musculaire inférieur à 3)
D (Incomplète au niveau moteur)	La plupart (plus de 50%) des muscles qui ont conservés en dessous du niveau de la blessure sont assez forts pour se déplacer contre la gravité (grade de niveau musculaire égal ou supérieur à 3
E (Normal)	Toutes les fonctions neurologiques sont retournées, donc les fonctions sensitive et motrice sont normales

Tableau 57 – Échelle de déficience de l'ASIA [195], [198]

En plus des différentes lésions, il existe aussi quelques syndromes de la moelle épinière qui peuvent mener à des pertes de sensibilité ou de contrôle partiel ou total du corps. L'utilisation d'un FR adéquat à chaque situation doit être considérée, aussi bien que les particularités des différents profils d'usagers qui doivent être considérées lors de la conception du produit. D'autre part, comme déjà cité plus haut, les usagers les FR peuvent aussi avoir des profils différents : maladies ou faiblisses dues au vieillissement.

Pour une première approche, proposer une plage de fonctionnalités des VNM qui soit adaptée aux différents niveaux de contrôle corporel et de sensibilité pour des usagers ayant des lésions de la moelle épinière (Tableau 58), nous semble déjà conséquent. D'un autre côté, les adaptations de Cycles doivent aussi considérer de tels profils, soit pour prévoir une utilisation partagée avec un autre utilisateur soignant, soit pour se servir des niveaux de contrôle personnel pour concevoir les caractéristiques du cycle en termes d'emplacement de la personne, propulsion, freinage, etc. Cette stratégie comprend aussi les Autres Véhicules à Propulsion Humaine.

Nerfs atteints	Cervicaux hauts	Cervicaux bas				Thoraciques		Lombaires	Nerfs sacrum
	C1 – C4	C5	C6	C7	C8	T1 – T5	T6 – T12	L1 – L5	S1 – S5
L'étendue des zones touchées	Les plus sévères lésions et qui peuvent mener à une paralysie dans les bras, les mains, les jambes et le tronc	Dans ce cadre la personne peut soulever ses bras et plier les coudes. Elle est susceptible d'une paralysie totale des poignets, des mains, des jambes et du tronc	Dans ce cas les nerfs affectent l'extension du poignet et les mains, le tronc et les jambes sont paralysés. La personne doit être capable de plier les poignets en arrière	Un cadre où les nerfs contrôlent l'extension du coude et une certaine extension des doigts. La plupart des gens peuvent mouvementer les bras et les épaules	Situation où les nerfs contrôlent quelques mouvements de la main et la personne doit être capable de saisir et de libérer des objets	Une situation où les nerfs affectent les muscles de la poitrine, les intercostaux et les abdominaux. Les bras et la fonction de la main est, en général, normale. Le cadre produit une paraplégie	Les nerfs affectent les muscles du tronc et le cadre est de paraplégie avec mouvement normal du haut du corps et une capacité moyenne de contrôler et équilibrer le tronc	Les blessures se traduisent généralement par une perte de fonction dans les hanches et les jambes	Les lésions entraînent généralement une perte de fonction dans les hanches et les jambes
Contrôle des fonctions internes	Le patient peut être incapable respirer seul ou de contrôler la toux. La capacité parler peut être altérée ou réduite Le patient peut être incapable de contrôler les mouvements de l'intestin ou de la vessie	Le patient peut parler et utiliser un diaphragme. La respiration sera affaiblie	Le patient peut parler et utiliser un diaphragme. La respiration sera affaiblie Le patient peut être incapable de contrôler l'intestin ou de la vessie, mais peut se gérer avec des produits spéciaux	Le patient peut être incapable de contrôler l'intestin ou de la vessie, mais peut se gérer avec des produits spéciaux	Le patient peut être incapable de contrôler l'intestin ou de la vessie, mais peut se gérer avec des produits spéciaux		Le patient peut être capable de toux productive Le patient peut être incapable de contrôler l'intestin ou de la vessie, mais peut se gérer avec des produits spéciaux	Le patient peut être incapable de contrôler l'intestin ou de la vessie, mais peut se gérer avec des produits spéciaux	Le patient peut être incapable de contrôler l'intestin ou de la vessie, mais peut se gérer avec des produits spéciaux
Autonomie et mobilité	La personne a besoin d'une assistance continue pour toute de la vie La personne peut d'utiliser les FR électriques avec des commandes spéciales La personne ne peut pas conduire une voiture	La personne Aura besoin d'aide pour la plupart des activités de la vie La personne peut utiliser un FR électrique, dès qu'elle soit installée sur ce dispositif La personne ne peut pas conduire une voiture	La personne peut s'installer sur fauteuil roulant et sur un lit avec des équipements d'assistance La personne peut être capable de conduire un véhicule adapté	La personne peut faire la plupart des activités de la vie avec autonomie, mais elle peut avoir besoin d'aide avec des tâches plus difficiles La personne peut être capable de conduire un véhicule adapté	La personne peut faire la plupart des activités de la vie avec autonomie, mais elle peut avoir besoin d'aide avec des tâches plus difficiles La personne peut être capable de conduire un véhicule adapté	Probablement la personne utilisera un fauteuil roulant manuel. Parfois, elle peut se tenir dans debout, ou même marcher avec des équipements La personne peut apprendre à conduire une voiture modifiée	Probablement la personne utilisera un fauteuil roulant manuel. Parfois, elle peut se tenir dans debout, ou même marcher avec des équipements La personne peut apprendre à conduire une voiture modifiée	Selon la force dans les jambes, la personne peut avoir besoin d'un fauteuil roulant et elle peut aussi marcher avec des équipements	Probablement la personne sera capable de marcher

Tableau 58 – Niveaux de blessure de la moelle épinière [197]

Les données démographiques indiquent qu'environ 1% de la population mondiale totale (soit 10% des PSH du monde) nécessite l'utilisation d'un FR. Autrement dit, 65 millions de personnes à travers le monde ont besoin d'un FR manuel ou électrique pour ses déplacements quotidiens, à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments publics ou privés [194]. En 2006, une estimation indiquait qu'environ 20 millions des personnes qui nécessitaient un FR n'en disposait pas. De plus, quelques « études montrent aussi que seule une minorité de ceux qui ont besoin d'un FR y ont accès, et parmi cette minorité, seules quelques rares personnes bénéficient d'un FR approprié » [199].

En France, il est estimé que 62 personnes par 10 000 habitants ont besoin d'un fauteuil pour les activités de la vie. Ce chiffre fait que le pays possède environ 360 000 utilisateurs de fauteuils roulants manuels et/ou motorisés. Dans ce contingent total d'usagers, les études montrent que 57% des personnes vivent chez elles dans des habitations personnelles, et 43% sont internalisées en maisons d'accueil ou dans d'autres institutions. Parmi les personnes qui vivent chez elles, 69% habitent des maisons et 31% des appartements. Cette situation est due au meilleur accès concernant les maisons par rapport aux immeubles sans ascenseur et/ou avec autres problèmes d'accessibilité. Le Tableau 59 présente la répartition des types d'institutions qui accueillent les personnes en FR [200], [201].

Types d'institutions	**Usagers de FR**		**Non usager de FR**
	Fréquence	**%**	**%**
Institutions pour les enfants et les adolescents	4 600	3	9
Institutions pour les adultes (sauf celles psychiatrique)	11 800	8	15
Institutions pour les personnes âgées avec des unités de traitement médical	49 600	32	18
Institutions pour les personnes âgées dans les unités de traitement médical	53 500	34	42
Unités de traitement hospitalier à long-terme	33 700	22	7
Établissements psychiatriques	2 300	1	9
Total	**155 500**	**100**	**100**

Tableau 59 – Type d' institution de résidence pour les utilisateurs de fauteuils roulants [200], [201]

Quelques caractéristiques sociodémographiques de la population d'utilisateurs de FR en France montrent que cette population est prioritairement âgée avec une moyenne de 70 ans. La moyenne est plus haute (79 ans) pour ceux qui habitent des institutions ; ceux qui habitent dans leurs maisons ont 63 ans en moyenne. Dans cette tranche d'âge, la population est bien plus féminine (64% contre 36% pour les hommes) ; la proportion monte jusqu'à 74% pour la population habitant les institutions. Les milieux sociaux les plus représentés dans la population des personnes en FR, à la fois à la maison et dans les institutions sont les ouvriers et employés manuels, suivis par les agriculteurs et les travailleurs qualifiés dans les institutions, les professions intermédiaires et les dirigeants et les professions intellectuelles [200], [201].

Relativement au statut marital des personnes en FR, environ 25% des personnes qui vivent à la maison et environ 65% de ceux qui vivent dans des institutions sont veuves ou veufs. Les nombre de personnes mariés qui habitent leurs propres maisons est largement supérieur au chiffre de ceux qui habi-

tent les institutions. Concernant l'environnement de mobilité, nous trouvons trois profils principaux : les personnes confinées dans leurs chambres ou à l'intérieur d'une résidence; les personnes qui rencontrent des obstacles environnementaux lors de trajets à d'autres endroits ; et les personnes qui ne trouvent obstacles et qui ne sont pas confinés à un lieu. Ces trois profils peuvent se produire soit à la maison, soit dans les institutions.

La Figure 109 montre la distribution des usagers de FR parmi les profils de mobilité cités. Nous nous apercevons que la majeure partie de cette population se trouve confinée aux environnements à l'intérieur de la maison ou de l'institution (56%), dont 70% confinés dans les institutions. Le nombre de personnes dans la situation la plus favorable est (pas confinées et pas d'obstacles) est de 37% du total d'usagers, tandis que 7% des usagers de FR rencontrent des obstacles lors de déplacements [200], [201].

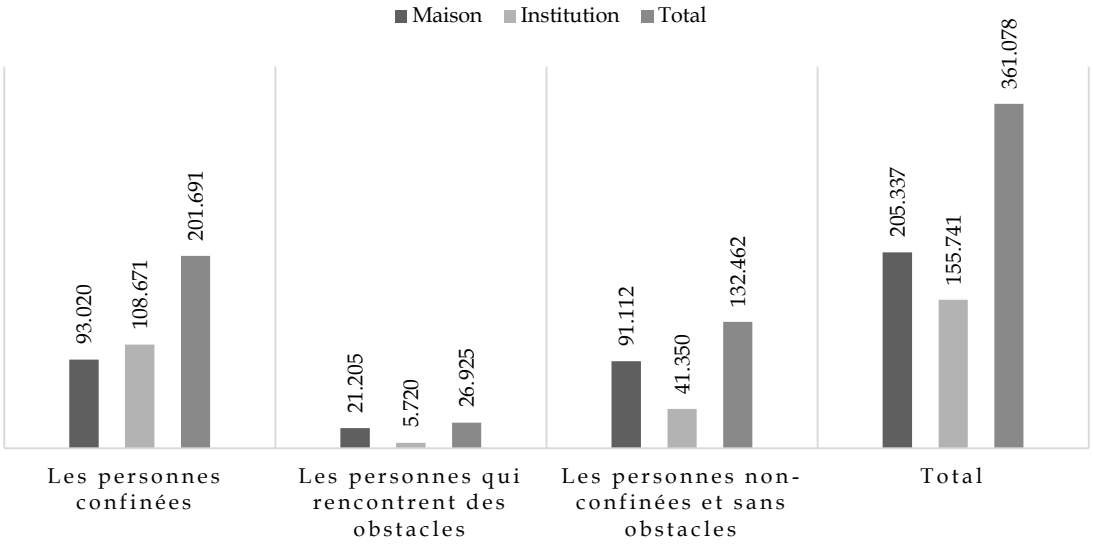


Figure 109 – L'environnement de mobilité des PSH en FR en France [197], [198]

Une enquête menée au sein du public d'utilisateurs de FR et les prestataires de soin personnels en France a apporté quelques résultats sur la satisfaction de ces groupes vis-à-vis des caractéristiques du produit. Ainsi, les chercheurs ont vérifié que les niveaux de satisfaction (ou d'insatisfaction) des usagers de fauteuils roulant sont indépendants de l'âge de la PSH ou des raisons qui ont conduit la personne à l'utilisation du fauteuil ou du temps d'utilisation (à long-terme). La Figure 110 montre les niveaux de satisfaction des usagers par rapport aux items de la composition du FR [193].

A travers une analyse de la Figure 110, nous vérifions que du point de vue des PSH, la propulsion extérieure, le poids et le confort de la main courante sont les principales insatisfactions par rapport au FR. Les soignants indiquent que les aspects qui les conduisent à une insatisfaction sont de nouveau le poids du fauteuil, mais aussi les freins de blocage (spécialement l'accès à ce dispositif qui est placé normalement à côté de la personne handicapée) et la hauteur des poignées pour pousser le fauteuil. La Figure 111 présente tous les détails des opinions des soignants sur les fauteuils roulants.

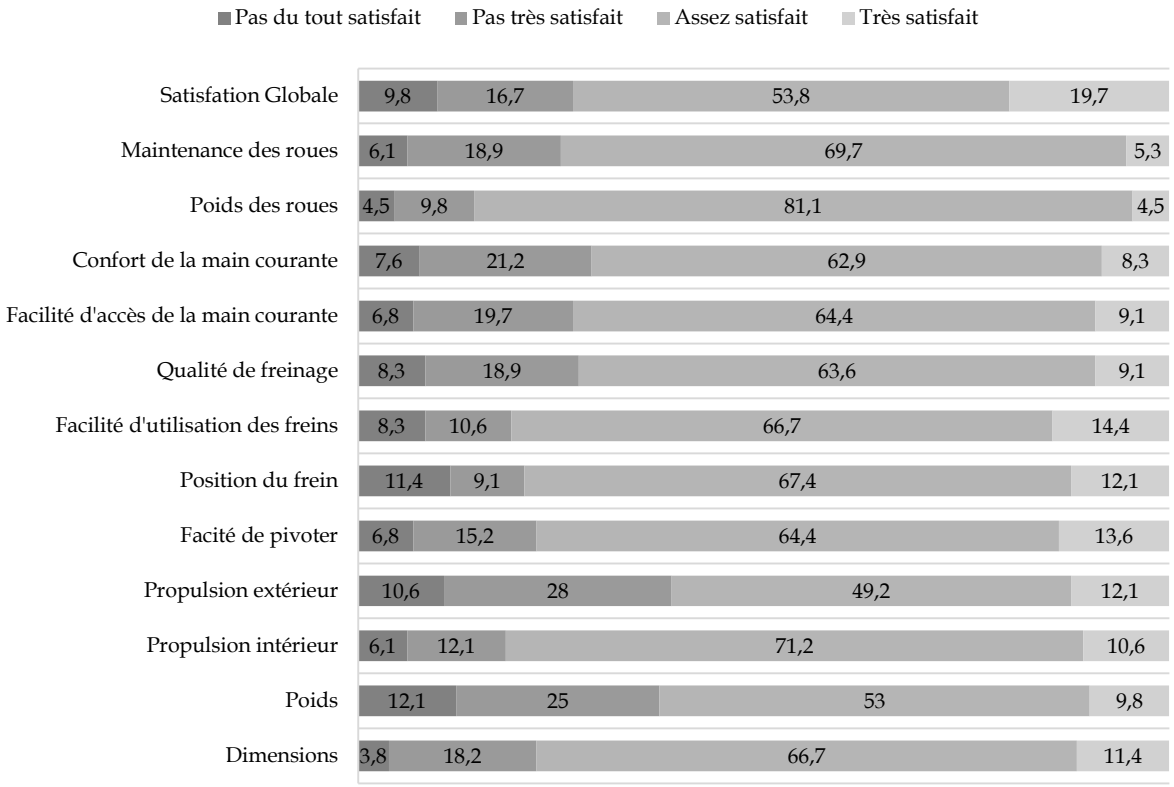


Figure 110 – Satisfaction des usagers par rapport aux items du FR [190].

Malgré ces aspects mis en relief, quelques subtilités de l'usage ne sont pas touchées par cette enquête. En effet, quand nous analysons un produit, ce qui nous intéresse est son ensemble, pas juste quelques-unes de ses parties. De plus, il est nécessaire de comprendre aussi le FR et le PSH en action dans un contexte d'utilisation donné. Finalement, cette enquête nous présente juste des éléments fonctionnels du PA et les aspects subjectifs comme l'esthétique du produit ne sont pas considérés. Ainsi, l'analyse de satisfaction d'un fauteuil doit aller plus loin, en touchant aussi la relation de la personne avec son dispositif, autrement dit, la signification du FR pour l'utilisateur et pour son entourage.

Quelques auteurs ont découvert que les choses attrayantes fonctionnent mieux en considérant l'aspect esthétique. Ils montrent que les produits esthétiquement agréables trouvent un meilleur ressenti du public et cela facilite son appropriation notamment face à d'éventuels problèmes d'utilisation [84]. Ainsi, s'il est vrai qu'un FR est un produit technique et que ses aspects ergonomiques ne doivent pas être négligés, il est aussi vrai que cet objet « va faire entièrement partie de la personne qui l'utilise et va donc représenter son image » [26].

En fait, considérer le FR juste comme PA pour la Mobilité Personnelle est réducteur parce que la personne fait plus que de se déplacer en fauteuil. Une grande partie des usagers dit « je suis en fauteuil » comme une façon de se définir ou de se voir en tant qu'être humain. Cela veut dire que l'utilisation du fauteuil englobe les activités comme faire les courses, du sport, des études et du travail, des loisirs en général, repositionner le corps et aussi réaliser des déplacements. Enfin, les fauteuils roulants peuvent

être considérés comme un lieu de vie, ou même être en symbiose avec la personnes à un niveau proche de celui des prothèses [92].

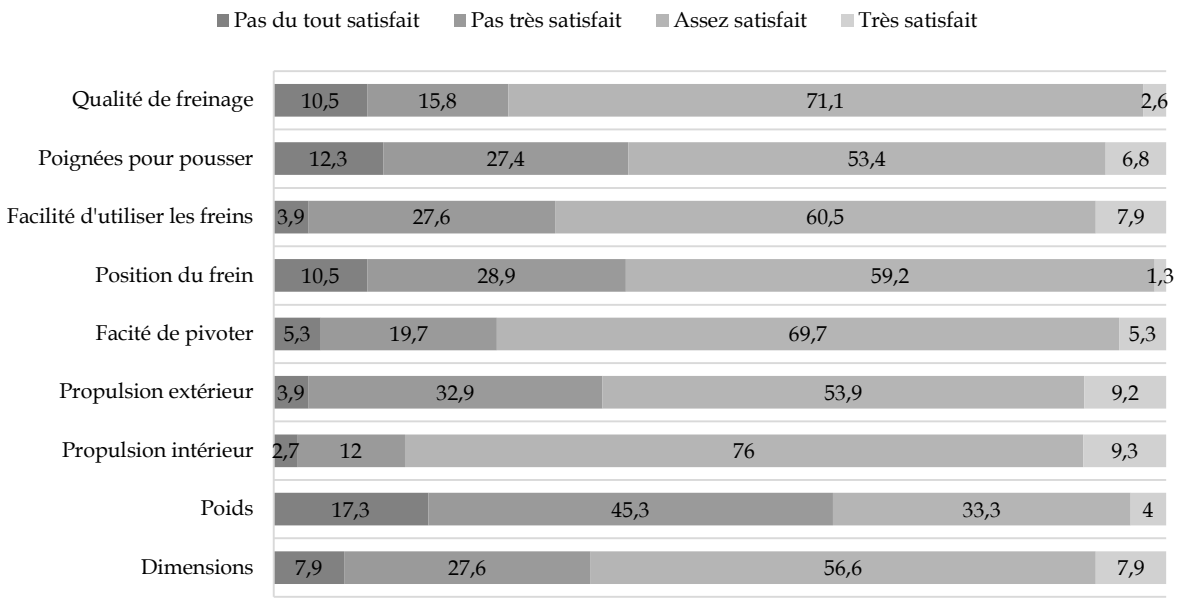


Figure 111 – Satisfaction des soignants par rapport aux items du FR [190].

Une enquête réalisée auprès des concepteurs, des usagers et des ergothérapeutes a vérifié que l'aspect esthétique d'un FR peut « aider la personne à accepter » sa situation de handicap. De plus, des auteurs identifient que les inspirations des concepteurs de FR viennent de l'industrie automobile [26]. Nous pensons qu'une autre source d'inspiration pour la conception des FR pourrait être le marché ou l'industrie des cycles. Cet avis se justifie au fur et à mesure qu'on trouve des similarités entre ces groupes de produits qui se trouvent dans la famille des VNM.

En outre, le marché du cycle présente une grande maturité et une variété de propositions de style et de modèles pour répondre à différents usages et goûts. La France est le 3ème pays européen consommateur de cycles. Une étude de l'Observatoire du Cycle a établi que 2 785 300 vélos ont été vendus en France en 2013. Ainsi, si le nombre de personnes habitant en France ayant besoin d'un FR n'est environ que de 360 000, le marché du vélo est bien plus étendu sur l'ensemble de la population nationale [202]. En effet, la vente de vélos à peu près 7,7 fois supérieure à la quantité de personnes ayant besoin d'un FR.

Les trois groupes principaux de cycles commercialisés sont les Vélos Tout Terrain (VTT) avec 49,6% du marché, les bicyclettes conçues pour la mobilité (vélo de ville, vélos à assistance électrique et vélos pliants), avec 11% des ventes totales, et les Vélos de course ou VTT haut de gamme avec 8% du marché. Ces chiffres nous amènent à considérer l'intersection entre les Cycles et les FR comme une stratégie tout à fait gagnante pour les PSH vis-à-vis du prix du PA. L'utilisation du vélo comme moyen de transport est en hausse dans les villes françaises et en Europe, peut-être grâce à ses caractères écolo-

gique et pratique en site urbain. Ainsi, les villes préparent des pistes cyclables, des services de location de vélos et les citoyens font de plus en plus le choix du vélo pour aller au travail, à l'école, pour leur loisir, etc. Profiter de ce contexte du marché des Cycles permettrait de partager les composants qui sont fabriqués en grande échelle avec les autres VNM. De plus, un équipement de type FR à quoi peut être associé l'image de bonne santé, de bonne forme physique ou même de vie plus écologique aura également une acceptation plus positive.

L'activité de Caractérisation des utilisateurs prévoit l'observation des PSH en utilisant le type de PA en cours de conception. De manière préliminaire, nous avons mené une activité d'immersion dans la réalité des utilisateurs de FR. Après quelques consignes et instructions d'utilisation, un parcours urbain de courte distance (350m) a été effectué et enregistré en vidéo pour une analyse postérieure. La Figure 112 présente le parcours réalisé (en pointillé).

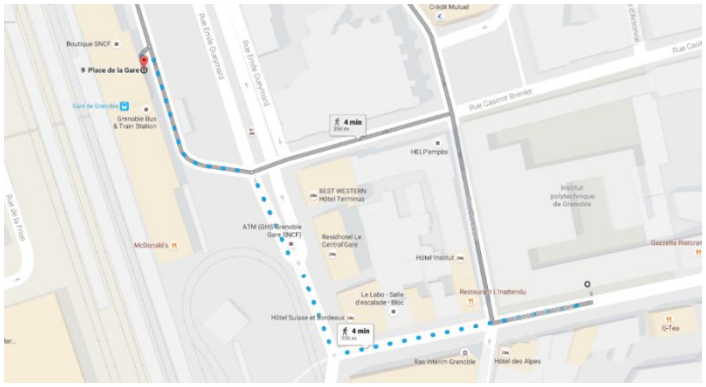


Figure 112 – Parcours réalisé un FR entre le Laboratoire G-SCOP et la Gare de Grenoble[2]

Cette tâche a été effectuée par moi-même, Marcel de Gois Pinto (MGP) et par Skander Mrabet (SM), étudiant en Master Recherche au laboratoire G-SCOP et travaillant sur ce cas d'étude. Chacun de nous a manipulé le FR pendant la moitié du parcours et a enregistré en vidéo dans l'autre moitié. L'expérience est constituée de trois phases différentes : (i) les déplacements et manœuvres exécutés à l'intérieur des bâtiments; (ii) ceux exécutés sur la voie publique ; et (iii) ceux réalisés dans un Etablissement Recevant du Public (ERP), notamment la Gare de Grenoble. Ces phases sont illustrées en Figure 113.

(i)

(ii)

(iii)

Figure 113 – Expérimentation d'un FR entre le G-SCOP et la Gare de Grenoble

[2] Source : Google Maps

Tout d'abord, nous avons pu obtenir quelques ressentis à partir de la prise en main du FR, qui pour Skander semble « plus intuitive ». Mais après une sensation initiale de facilité, nous nous sommes rendu compte de certains « dangers », notamment la facilité avec laquelle le fauteuil pouvait basculer en arrière en cas de d'utilisation trop brusque des mains courantes. Le Tableau 60 présente les principaux résultats de cette mise en situation.

Utilisateur	Déplacement à l'intérieur du bâtiment	Déplacement sur la voie publique	Déplacement dans la gare de Grenoble
SM	Pas de problème rencontré dans les couloirs du bâtiment, l'accès à l'ascenseur est plutôt facile. A la sortie de l'ascenseur, pas de problème face à la porte à fermeture automatique.	Passage par une pente douce qui me permet de me rendre compte que je suis assis sur des roues un peu instables – je prends vite de la vitesse une fois dans la pente Dans la rue, sur un trottoir très penché côté rue ce qui me gêne beaucoup pour avancer en ligne droite, je suis obligé de tourné la roue gauche (côté rue) bien plus souvent que la droite Les passages piétons sont très dur à négocier, je me retrouve bloqué dès qu'il y à la moindre pente et je suis forcé de me pencher en avant afin de ne pas basculé en arrière. Je ne m'attendais pas à une telle difficulté. Aller vers la gare m'a pris une dizaine de minutes alors que j'aurais mis 2 minutes à pieds	L'accès à la gare est plutôt facile, mais la machine d'achat de billet n'est pas adaptée aux personnes utilisant un FR de par sa hauteur mais aussi de l'absence d'espace pour se mettre face à la machine
MGP	les déplacements à l'intérieur sont assez simples, sauf les passages étroits et les portes d'ouverture non-automatisée	Le même chemin dans le sens inverse et la pente est devenue une montée qui ne m'a pas posé de problème Une petite inclinaison du trottoir faisait pencher le FR vers les voitures garées le long de la route. Au retour, j'ai pris l'autre trottoir qui était plus horizontal énormément de difficulté pour traverser les rues aux endroits des croisements.	Trajet d'accès aux trains a été fait par moi. Ainsi, j'ai pu voir qui l'accessibilité des vois était assez bonne. Cela a beaucoup facilité les manœuvres réalisées. en sortant des quais, je me suis retrouvé devant une rampe. Celle-là n'était pas difficile pour franchir à pied, mais en fauteuil était difficulté et une personne qui passait m'a gentiment aidée à franchir l'obstacle en poussant le fauteuil

Tableau 60 – Résultats de la mise en situation en FR en ville

Quelques retours concrets de cette mise en situation :

- Nous nous sommes aperçu que l'échelle de temps pour une PSH en FR est très différente que pour un piéton. En revanche, nous devons remarquer que c'était le premier usage d'un FR pour nous deux.
- L'accès à la Gare de Grenoble est facile, mais certaines précautions doivent être prises de manière à ne pas laisser les pneus du fauteuil se coincer dans les irrégularités des trottoirs et dans les rails du tramway qui desservent la gare.
- Il est difficile de s'approcher d'un espace de travail (type guichet automatique) s'il n'a pas été conçu pour cela.
- Nous avons ressenti la même gentillesse des personnes lors du passage de portes et de leur anticipation pour laisser de chemin libre pour notre passage.

En résumé de notre expérience, les déplacements en FR sont très sensibles vis-à-vis les problèmes d'accessibilité. Même dans un environnement « bien conçu» pour l'accessibilité, nous avons vécu des difficultés de mobilité avec les petits défauts qui peuvent être considérés comme normaux pour une personne qui peut marcher, mais qui posent d'importants problèmes aux personnes en fauteuil. Deux autres aspects sont remarquables dans cette expérience : le besoin d'anticiper la planification des trajets, notamment lors d'un nouveau parcours, et l'amabilité des personnes dans la rue pour nous aider. Cet aspect est très positif, mais il nous a montré aussi qu'un FR implique un handicap et que cela est très visible. Cette incitative nous a donné de bonnes bases pour passer à l'observation des utilisateurs de FR.

L'équipe de conception de VNM a aussi participé de la 4ème édition Handi-Hockey (Figure 114) organisée par l'association Espace d'Animation Sportive et Interdisciplinaire (EASI). Cette association a été créée par Sylvain Meunier pour but d'agir en faveur de la mixité entre les PSH et personnes valides. Elle propose à ses adhérents différents ateliers culturels et sportifs pour promouvoir mixité, la convivialité et le partage. Le tournoi de hockey sur fauteuil a eu lieu à Grenoble le 19 mars 2016 et a rassemblé plus de 200 personnes. Nous avions principalement le rôle d'observateurs.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figure 114 – Tournoi de Handi-Hockey

Dans ce tournoi les équipes étaient soit mixte, soit constituée uniquement de PSH et soit valide. Les fauteuils utilisés variaient beaucoup en format et catégorie. La grande majorité des joueurs en FR était sportifs, mais il a été possible de voir, lors des matchs, des fauteuils utilisés dans la vie quotidienne. Nous avons pu vérifier que les fauteuils utilisés pour les personnes dites valides avaient souvent un dispositif anti basculement en arrière, et des protections supplémentaires pour ceux qui n'ont pas l'habitude de manipuler un tel produit.

Lors de notre observation, nous avons pu vérifier que les « vrais utilisateurs » de FR étaient beaucoup plus à l'aise pour manipuler le FR, malgré les difficultés supplémentaire dues à la pratique sportive, principalement le bâton d'hockey. Cette facilité de manipulation nous a permis de relativiser notre expérience de « balade » décrite en amont et de confirmer que les quelques difficultés ressenties seraient minimisées avec de l'entrainement en FR.

A la fin du tournoi, des impressions sur l'évènement ont été récupérées. Les PSH ont fait surtout des remarques centrées sur l'opportunité que le tournoi donnait en termes de réduction de l'isolement personnel et sur les avantages du caractère mixte de l'initiative. Il a semblé tout à fait important que ce type d'évènement ne soit pas centré sur le handicap, mais qu'il soit ouvert **à tous**. Les valides ont remarqué que l'expérience était importante en termes de « mise en situation de handicap », et quelques-uns ont eu du plaisir à découvrir une nouvelle pratique sportive en fauteuils **pour tous**. Enfin, il a été possible de trouver des personnes ayant choisi une pratique sportive quotidienne réalisée sur fauteuil.

Nous avons réalisé aussi d'autres observations d'utilisation réelle des FR avec des personnes de notre entourage, des passants dans la rue et des vidéos sur internet. Ces observations ont complété nos impressions sur l'utilisation de FR dans les environnements intérieurs, dans des espaces de transition entre l'intérieur et l'extérieur, pour l'accès aux moyens de transport comme la voiture, le bus, le tramway, le train et l'avion. Toutes ces observations et discussions nous ont donné plus de connaissances sur la réalité des utilisateurs, leur quotidien, les vraies difficultés vécues etc. Enfin, ce matériel nous a donné une bonne base pour approfondir les discussions avec les utilisateurs des VNM en conception.

4.3.1.3 Analyse de produits connexes aux VNM

L'analyse des VNM déjà proposés sur le marché a été réalisée sur les mêmes bases que celles utilisées pour les DAM, comme Handicat (France), AbleData (Etats-Unis), Eastin (Europe), Rehadat (Allemagne) et Hjælpemiddelbasen (Danemark). En outre, nous avons aussi réalisé une recherche de FR sur les sites de fondations spécialisées comme la Fondation Garches et quelques fabricants spécifiques. En outre, pour les cycles, nous avons élargi notre recherche en incluant les types de vélos destinés au « grand public ». A partir de ces bases, nous avons sélectionné 198 produits et enregistré les informations nécessaires pour leur analyse (44 Cycles, 79 FR, 15 produits classifiés comme Autres Véhicules à Propulsion Humaine et 60 Accessoires pour FR), comme le montre le Tableau 61. Nous avons collecté ces PA au regard des facteurs suivant : l'architecture des produits, l'approche de conception, la complexité du produit, la stratégie de fabrication et de personnalisation.

Comparativement au travail de sélection des DAM, celui-ci a été plus simple car les fabricants des véhicules fournissent beaucoup de détails sur leurs produits. Ainsi, le répertoire de données et d'informations inclut des vidéos d'assemblage des produits, ou même la façon avec laquelle les produits sont conçus et peuvent être personnalisés, des photos, des diagrammes d'assemblage et des manuels d'utilisations.

Sous-classes et ses catégories de VNM	Total
Cycles	44
Bicyclettes à propulsion podale	2
Tricycles et quadricycles à propulsion podale pour une personne	16
Tricycles à propulsion manuelle	4
Tandems, tricycles et cycles à quatre roues pour deux personnes ou plus	7
Adaptations pour cycles	15
Fauteuils roulants manuels	**79**
Fauteuils roulants manuels, manœuvrés par les deux mains	60
Fauteuils roulants à leviers	2
Fauteuils roulants à propulsion manuelle unilatérale	3
Fauteuils roulants à propulsion podale	2
Fauteuils roulants manuels manœuvrés par une tierce personne	12
Autres véhicules à propulsion humaine	**15**
Fauteuils de transfert	5
Landaus et poussettes	8
Crawlers et planches à roulettes	1
Dispositifs de mobilité propulsés manuellement par le conducteur debout	1
Accessoires de fauteuils roulants	**60**
Dispositifs d'éclairage et dispositifs de signalement de sécurité pour fauteuils roulants	5
Freins pour fauteuils roulants	13
Pneumatiques et roues pour fauteuils roulants	12
Systèmes de retenue de l'occupant du fauteuil roulant	13
Dispositifs de protection des FR ou des personnes utilisant les FR contre le soleil ou les intempéries	3
Dispositifs permettant de raccorder un fauteuil roulant à une bicyclette	7
Dispositifs attachés aux fauteuils roulants permettant de porter ou de transporter des objets	5
Dispositifs permettant de surveiller les alentours des fauteuils roulants	2
Total	**198**

Tableau 61 – Véhicules non-motorisés et ses accessoires présents sur le marché

Suite à cette recherche et aux enregistrements de données, nous avons réalisé la décomposition de ces produits en systèmes et en sous-systèmes de manière à bien comprendre leur construction et trouver une façon de proposer une structure transversale pour la conception des VNM. Bien que ces produits aient une complexité moyenne voire haute (surtout en termes de quantité de composants), cette organisation de la structure peut se limiter à quatre systèmes, à savoir : système structural, système de maintien postural, système de déplacement et systèmes supplémentaires (Tableau 62). A travers cette configuration, il est possible d'assembler les catégories de FR, Cycles et des Autres Véhicules à Propulsion Humaine qui sont l'objet de ce cas d'étude.

Le système structural (1) est responsable de la stabilité du produit. Il est l'entité sur laquelle les autres systèmes seront assemblés. Ce système est divisé en (1.1) Châssis ou cadre du produit et les (1.2) systèmes d'ajustement ou réglages du cadres aux particularités morphologiques de la personne. Ensuite, le système de maintien postural (2) est le réceptacle de l'utilisateur, étant divisé entre le (2.1) système d'assise, avec les selles, siège, dossiers et coussin ; et le (2.2) support pour les membres du corps

comme par exemple les accoudoirs et les repose-pieds. Puis nous avons le système de déplacement (3) qui contient les (3.1) éléments de contact avec le sol, (3.2) le système de freinage, le (3.3) système de propulsion et transmission, et le (3.4) système de guidage du véhicule. Finalement, nous avons ajouté quelques systèmes supplémentaires (4) qui ne sont pas obligatoirement présents dans les produits, mais qui devraient faire partie de la structure transversale d'un véhicule non-motorisé. Ce système pourra être composé de quelques (4.1) éléments de sécurité et de quelques (4.2) aménagements.

Système	Sous-système
1. Système structural	1.1 Châssis ou cadre
	1.2 Système d'ajustement ou réglages
2. Système de maintien postural	2.1 Système d'assise
	2.2 Support pour les membres du corps
3. Système de déplacement	3.1 Élément de contact avec le sol
	3.2 Système de freinage
	3.3 Système de propulsion et transmission
	3.4 Système de guidage
4. Systèmes supplémentaires	4.1 Éléments de sécurité
	4.2 Aménagements

Tableau 62 – Structure transversale pour les véhicules non-motorisés

En plus de la proposition d'une structure transversale pour les VNM, nous avons étudié la configuration finale du produit et la nature de ses interfaces. Il a été possible de vérifier que tous les produits classifiés comme modulaires utilisaient une configuration finale dont la variété était produite à partir de la permutation de composants. De plus, toutes les interfaces des produits modulaires étaient spécifiques du duo de composants à assembler. Cela veut dire qu'il n'existait pas beaucoup voire aucune répétition d'interface dans les produits. Ainsi, les concepteurs assurent que chaque interface fournit une liaison sécurisée entre les pièces et ils évitent des erreurs d'assemblage.

Enfin, l'analyse de l'architecture des produits nous indique qu'il est possible d'utiliser une stratégie de modularité combinatoire pour les VNM. En revanche, le niveau de transversalité de la structure proposé dans le Tableau 62 et de partage de pièces entre les différents véhicules dépendra de la transversalité des alternatives de plateformes pour la famille de produits. En effet, plus les interfaces sont différents, plus il est difficile d'aller vers une modularité arborescente.

Ensuite, nous avons analysé les produits selon l'approche de conception utilisée, de manière à vérifier si les VNM étaient plutôt conçus pour les PSH ou s'ils étaient plutôt des adaptations de produits dits « grand public ». Pour les véhicules enregistrés nous avons vérifié qu'environ 90% sont conçus directement pour les PSH, tandis que le restant se divise entre produits conçus « pour tous » (environ 5%) et produits « grand public » (5%). Lors de la classification des véhicules nous avons enlevé les accessoires qui ont été analysés séparément. Pour ceux-ci, nous avons trouvé un taux plus important de

produits non spécialisés. Cette caractéristique nous indique la réutilisation de composants standards de plusieurs produits pour composer les PA ciblés dans le cas d'étude.

Ensuite nous avons évalué les produits selon la stratégie de fabrication, telles que les possibilités de fabrication pour le stockage, fabrication sur commande, assemblage sur commande ou conception sur commande. Nous avons pu vérifier qu'aucun produit n'est ni conçu, ni totalement fabriqué à partir des commandes des utilisateurs. Ainsi, les stratégies ce concentrent sur la fabrication pour le stockage (environ 78%) et pour l'assemblage sur commande (environ 22%). Cela indique que les produits proposés aux usagers sont prioritairement des produits standards ou assemblés à travers des composants standards. Malgré cette information de bas niveau de personnalisation, la décomposition nous a permis d'identifier avec plus de détails les niveaux et les types de personnalisation de produits proposés aux utilisateurs. Les produits sélectionnés ont été analysés aussi en termes de niveau et de types personnalisation possible. Dans le cadre des VNM, nous observons la concentration sur deux niveaux de personnalisation : lors de l'usage et lors de l'assemblage du produit. Les résultats sont présentés en Figure 115.

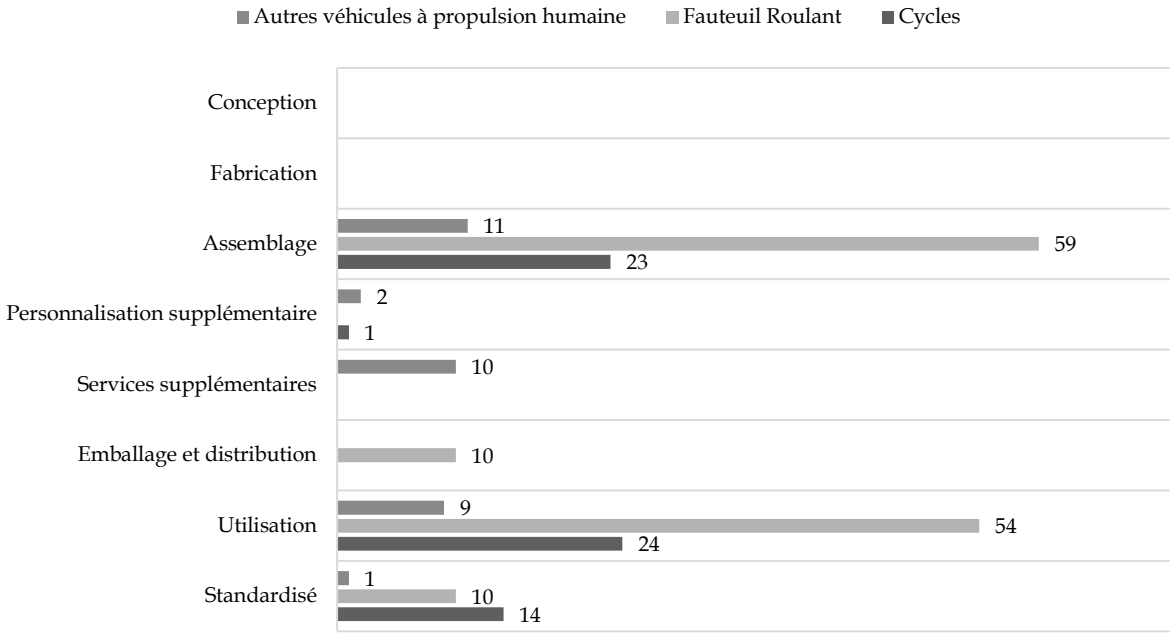


Figure 115 – Niveaux de personnalisation trouvés dans les véhicules sélectionnés

La Figure 115 montre que le marché des VNM présente déjà une prévision de personnalisation qui n'est pas négligeable. Ensuite, nous avons analysé les types de personnalisation proposés aux utilisateurs de FR et de Cycles (nous avons enlevé les Autres véhicules à propulsion humaine du fait de leur proximité avec les FR, au moins dans la plateforme proposée dans la Section 4.3.1.1). Le résultat de cette analyse est présenté dans la Figure 116.

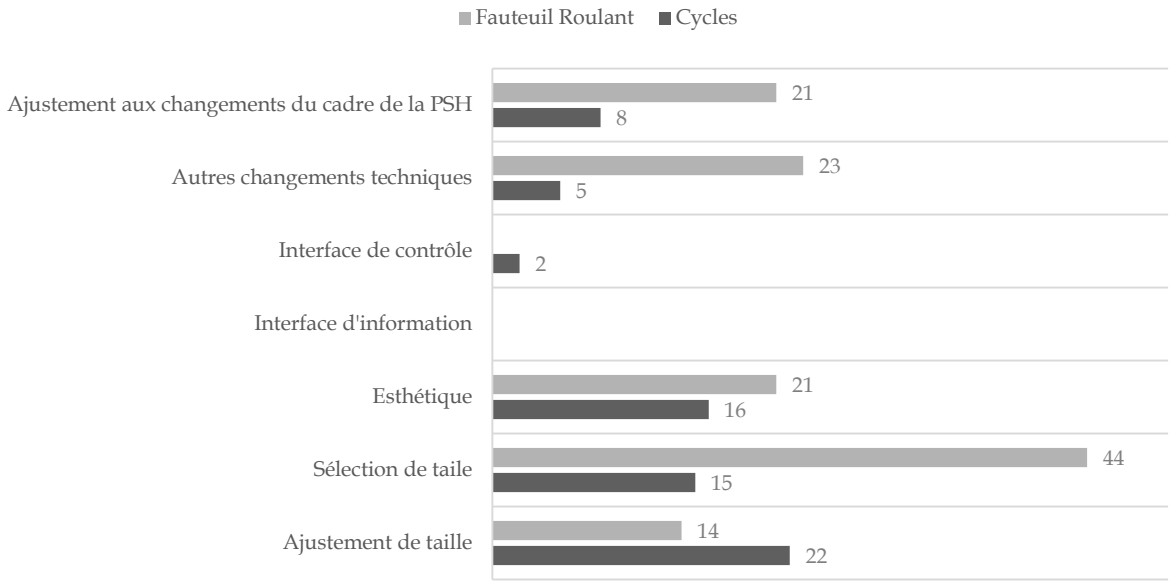


Figure 116 – Types de personnalisation trouvés dans les véhicules sélectionnés

Les personnalisations faites lors de l'assemblage des VNM étaient concentrées sur les adaptations du produit pour répondre aux différences anthropométriques des personnes (sélection et ajustement de taille) et des choix esthétiques liés à leurs goûts. Les adaptations lors de l'Utilisation sont plutôt celles pour répondre aux différents besoins d'activité d'une même personne (Ajustement aux changements du cadre de la PSH et Autres changements techniques). Un exemple d'une telle situation est le changement de roues d'un FR pour l'utiliser dans les terrains plus accidentés lors des loisirs. Après, ce moment-là, la PSH peut remettre les roues utilisées normalement pour ses déplacements en ville.

Finalement, cette activité nous a permis d'apprendre beaucoup sur le marché des VNM de notre cas d'étude. Nous avons pu proposer une structure transversale pour ces produits et vérifier qu'ils possèdent un bon niveau de personnalisation, même si nous pouvons le pousser vers une amélioration et une réduction des prix pour rendre cette personnalisation moins couteuse pour les PSH.

4.3.1.4 Environnement d'utilisation des VNM

L'environnement d'utilisation d'un PA, son côté tangible ou sa dimension intangible, peut avoir une influence très forte sur la réussite de la réalisation des activités souhaitées et aussi de la participation sociale de la PSH. Quand le problème en question est lié à la mobilité des PSH qui utilisent des véhicules non-motorisés, ce cadre d'usage est notamment imbriqué dans la mobilité urbaine.

Contexte Tangible

Dans le côté tangible, nous allons nous concentrer sur l'environnement et ses modifications, aussi bien que sur les produits et technologie disponibles pour les PSH. Suite aux expériences précédentes, nous contextualisons les déplacements sur quelques phases, à savoir : planification et préparation ; déplacements internes aux bâtiments et déplacements à l'extérieur. Les FR sont des produits utilisés dans

tous les environnements, tandis que les Autres véhicules à propulsion humaine majoritairement utilisés dans le cadre de déplacements internes et que les Cycles sont prévus pour l'utilisation extérieure. La prévision et la planification doivent se produire sur tous les types de déplacements.

	FR	Cycles	Autres véhicules à propulsion humaine
Planification et préparation	x	x	x
Déplacements internes	x		x
Déplacements à l'extérieur	x	x	

Figure 117 – Les environnements d'utilisation des VNM

La planification pour les déplacements internes (en FR et les Autres véhicules à propulsion humaine) est plutôt liée à la préparation des logements et l'adaptation des environnements les plus utilisés par la PSH, comme son espace de travail et/ou d'étude par exemple. Ceci fait notamment référence aux accès des structures, comme les portes, les virages ou angles, les rampes ou escaliers, la hauteur des meubles et des objets à attraper, le mobilier comme certains bureaux ou tables, les équipements de salles de bain, etc. De l'autre côté, à l'extérieur, cette analyse prévoit le trajet, les connaissance de l'accessibilité du chemin choisi (voies, transport-en-commun, parking accessible, etc.), les déplacements sur de longues distances, parfois sur des revêtements difficiles, en montant et en descendant des bordures de trottoirs, en transportant des objets (affaires personnels et/ou marchandises) et exposé à des conditions climatologiques défavorables. En effet, la mobilité à l'extérieur est plus difficile à résoudre parce que les chemins changent par rapport à l'infinité de destinations possibles, tandis que les espaces internes sont plus stables.

Une étude réalisée en Inde révèle que 60% des FR fournis à titre de dons sont abandonnés. Ceci doit pousser encore plus les concepteurs à considérer les particularités énoncées ci-dessus. Cette situation d'abandon est due à l'inconfort du produit par rapport au fait qu'il n'est pas adapté à l'environnement d'utilisation. [27], [194]. Ainsi, réaliser une recherche dans le cadre du handicap dans la Ville de Grenoble semble être tout à fait pertinent étant donné que la ville a une réputation en Europe pour son respect et ses actions envers les PSH. Grenoble a reçu en 2014, le 2ème prix européen des villes accessibles aux côtés de Göteborg (Suède) et Poznan (Pologne), respectivement 1ère et 3ème places. Le prix, nommé *Access City Award*, vise à primer les villes européennes de plus de 50 miles habitants pour ses initiatives d'amélioration de l'accessibilité dans tous les domaines (environnement bâti, espaces publics, transports, informations et technologies, services publics, etc.), et qui peuvent servir de modèles pour d'autres villes [203].

Pour Grenoble, le niveau d'accessibilité moyen de la Ville était de plus de 69% en 2015, et de plus de 80% en ce qui concerne le centre-ville. Depuis 2013 les données d'accessibilité sont mises à jour dans un système d'information géographique. Cet outil permet de vérifier le niveau d'accessibilité et de calculer les mètres linéaires de voirie accessible. Ainsi, Grenoble possède 427 km de trottoirs dont 294 km sont accessibles et 80km sont complètement inaccessibles. Un deuxième aspect lié à l'accessibilité

en ville concerne les transports collectifs et l'intermodalité. Le rapport 2014 - 2015 de la Commission Communale d'Accessibilité de la ville pointe que 100% des stations de tramway et des rames sont accessibles et 92% des arrêts de bus sont accessibles [204].

Pour compléter le cadre de l'accessibilité, il faut connaître le cadre du bâti vis-à-vis de toute la chaîne de déplacement (s'approcher et accéder, entrer, circuler et utiliser). Ensuite, l'accessibilité est évaluée par rapport aux types de difficultés et les bâtiments sont classés selon 3 niveaux d'accessibilité comme présenté dans le Tableau 63. Globalement, 38% des Equipements Recevant du Public (ERP) sont accessibles de façon autonome, et 42% sont inaccessibles [204].

Déficience	Praticable de façon autonome	Praticable avec accompagnement	Non praticable
Motrices	29%	29%	42%
Visuelles	18%	80%	2%
Auditives	73%	27%	0%
Mentales et intellectuelles	32%	68%	0%

Tableau 63 – Accessibilité des Etablissement Recevant du Public (ERP) à Grenoble [204]

Pour compléter le cadre du bâti, la ville intervient sur la demande et l'offre de logements adaptés et essaie de rapprocher l'une de l'autre. Ainsi, entre 2008 et 2014 la ville a livré un total de 214 logements adaptés sur 1990 logements sociaux livrés (soit 10,8% du total). Finalement, les actions municipales faites concernent aussi les sujets de la scolarisation, de l'emploi, des loisirs, etc.

L'impression dégagée par la Ville de Grenoble sur la mobilité via l'accessibilité nous a indiqué une voie de recherche en termes de types de PA qui ont été au centre de nos expérimentations. En outre, quand nous analysons la liste de classes de PA présente dans le Tableau 6, nous observons qu'une gamme d'activités n'est possible que dans un cadre de mobilité favorisée. Cela veut dire que ces activités sont dépendantes la mobilité personnelle dans un degré plus ou moins important. Ainsi, pour la réalisation des activités domestiques, pour la manipulation des objets et des dispositifs, aussi bien que pour les activités liées à l'emploi et à la formation professionnelle et aux loisirs, la mobilité est un facteur conditionnant. En effet, ces activités demandent des déplacements de plusieurs niveaux et les personnes avec les problèmes de différente nature vont subir des problèmes de mobilité.

Toutefois, toutes les villes de France ou d'Europe ne sont pas accessibles comme Grenoble ou comme d'autres villes modèles. Aujourd'hui, nous trouvons beaucoup de blogs et de chaînes vidéo sur internet qui permettent aux PSH de partager leurs quotidiens et nous renseignent sur les difficultés de manière plus profonde qu'un entretien personnel. Quelques témoignages[3] de PSH montrent que la

[3] Exemples de blogs de personnes en FR : Ma vie en fauteuil (http://handicap.blogs.liberation.fr) de Stéphanie Guy ; Wheelcome (http://wheelcome.net) de Charlotte de Vilmorin ; Roulettes et sac à dos (http://roulettes-et-sac-a-dos.com) d'Audrey Bartaud.

mobilité est toujours bloquée par des problèmes d'accessibilité, notamment au niveau des métros et des trains urbains, malgré beaucoup de progrès effectués. Généralement, la situation est bien plus préoccupante dans pays en voie de développement ou sous-développés.

Contexte Intangible

Dans sa dimension intangible, l'environnement fait référence aux relations et attitudes, et aux services et politiques mis en place pour les PSH. Pour cela, trois PSH en FR ayant un regard profond de la situation ont été rencontrées. La première possède un handicap très lourd et son quotidien est très marqué par le besoin de planification des activités. La deuxième a une situation de handicap évolutive, participe à de nombreuses manifestations et milite pour les droits des PSH à Grenoble notamment. La dernière a un handicap plus stable et préside une association qui travaille sur la mixité entre les PSH et les personnes dites valides.

Nos interviewés indiquent que les politiques favorisant la reconnaissance des PSH en France sont associées au fait de militer en permanence pour une évolution de la situation. Ainsi, petit à petit, la France a développé tout un corps juridique dans le pays depuis la deuxième guerre mondiale, en passant par la Loi n° 75-534 du 30 juin 1975 d'orientation en faveur des personnes handicapées, la Loi n° 87-517 du 10 juillet 1987, en faveur de l'emploi des travailleurs handicapés, jusqu'à l'arrivée de la loi n°2005-102, pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées. La loi de 2005 a été proposée à partir d'un terrain déjà préparé par les lois précédentes. En revanche, cette dernière loi ne cherchera non pas à soutenir les PSH mais les intégrer complètement dans la société. Evidemment, pour que la loi fasse une différence dans la vie des personnes, elle doit être efficace dans son application.

L'inclusion sociale passe aussi par la représentation et le soutien des PSH dans plusieurs milieux, comme l'éducation, l'emploi, la santé, la représentation politique, etc. A partir du corps juridique déjà cité, l'éducation des enfants en situation de handicap doit être faite dans un cadre de mixité avec les autres personnes dites « valides » au sein des établissements d'enseignement classiques. Cela veut dire que ces groupes se côtoient dès leur jeunesse et que l'habitude de vivre avec la différence se fait au quotidien. Pour cela, un changement de mentalité pédagogique est nécessaire. Dans ce cadre, la loi ne s'attaque malheureusement pas à un sujet crucial pour l'intégration : surmonter l'idée d'autonomie comme une valeur. En effet, les PSH interviewés indiquent que l'aide est le chemin, et qu'il nécessaire de reconnaitre que l'indépendance complète des PSH n'est pas un objectif à poursuivre. Ainsi, il est souhaité à la fois d'une éducation standardisée avec un pari sur l'indépendance, mais il est défendu aussi une éducation attentive sur les particularités de chacun, même dans la mixité.

Il existe une liaison très étroite entre l'accès à la formation et l'accès au travail. Ces politiques se complètent. En revanche, entre les catégories d'origine du handicap, nous constatons qu'environ 15% des personnes sont handicapées à la naissance et que 85% des situations de handicap arrivent à l'âge

adulte. Ainsi, l'enjeu n'est pas seulement de trouver des milieux d'accueil pour les enfants, mais de la formation à tout âge.

Dans nos sociétés, l'entrée dans le monde de l'emploi est centrale ou du moins très importante. C'est également un long combat que les associations de personnes handicapées mènent depuis des années pour l'accès au travail. Ce combat remonte à la loi de 1987 qui à son tour, fait référence aux années 60 et 70 où la France se trouvait en plein emploi. A cette époque en France, le taux de chômage était de 2% et les PSH étaient exclues du marché de travail avec un taux de chômage de 20%. Dans ce contexte, la France va imposer un système de quotas (6% des travailleurs en situation de handicap pour une entreprise de plus de 20 salariés) pour forcer l'insertion des PSH dans le marché de travail. En revanche, la mentalité des personnes dans la société doit aussi changer, parce que une PSH embauchée ne doit pas être de discriminée (capacité de travail, etc.). De plus, les entreprises qui ne veulent pas embaucher de PSH doivent contribuer à une Association récupérant les fonds de compensation pour la mise en place de moyens permettant l'accueil de PSH. Aujourd'hui, le taux de chômage de la population française est de 10 à 12% et des PSH il est d'environ 25%. Les écarts sont encore importants, mais l'évolution du taux de chômage est passée de 10 à un taux de l'ordre de 2,5.

En France, il existe aussi un système de compensation et de protection civile qui prend en charge une partie ou la totalité des coûts qu'une PSH a en termes de dépenses liées à l'acquisition des PA. Cette aide regroupe la sécurité sociale et aussi d'autres structures comme le conseil départemental, la mutuelle personnelle et, si la PSH travaille, la Direction Générale des Finances Publiques (DGFIP) prend la différence à sa charge. Ce sont des dispositifs très protecteurs et, même s'ils ne prennent pas systématiquement tout en charge, la couverture des PSH est bien plus importante que celle des personnes âgées.

Un élément très important dans la relation ou dans le regard que la société française a par rapport au handicap est le vieillissement de la population. Ce processus naturel est corrélé au handicap, une fois qu'on commence à perdre des capacités. Nous concernant tous, ce processus constitue une source de changement de la façon de voir le handicap dans la société.

Finalement, des changements sur l'image des PSH sont vus dans la communication et dans les médias. Des séries télévisées policière française comme « Caïn » (où le personnage principal est un capitaine de police dans un FR) ou des films comme « Intouchables » (inspiré d'une histoire réelle d'une personne tétraplégique à la suite d'un accident de parapente) apparaissent aux écrans. En outre, le sport de haut niveau change aussi l'image et les expectatives par rapport aux capacités des PSH. Les Jeux Paralympiques de Rio 2016 ont vu une bonne diffusion en France. Cela transforme l'image de la PSH faible vers une personne efficace, performante et compétente. Aujourd'hui nous progressons vers des éléments positifs du handicap. Des campagnes publicitaires de grandes firmes utilisent l'image des PSH comme vecteur de divulgation de leurs produits, et des défilés de mode présentent des modèles trisomiques. Ainsi, le handicap pénètre des milieux desquels il était complètement exclu.

Ainsi, à partir des entretiens réalisés, de la documentation analysée, y compris des lois, des documentaires réalisés par des associations de support à la PSH, nous pouvons dire que l'environnement politique vis-à-vis de ce groupe de personne est plutôt positif. Il existe toute une structure juridique de protection et compensation mise en place et dont les résultats commencent à être visibles. Il existe aussi une nouvelle culture générale et les nouvelles générations participent grandement aux changements en ce qui concerne l'acceptation et l'intégration des PSH dans la société. Il y a encore beaucoup de choses à faire ou de places à gagner mais le travail est déjà en cours et le bilan est plutôt positif.

4.3.1.5 Révision de l'étape de découverte des VNM

Après la réalisation des activités de l'étape de Découverte des VNM, nous avons procédé à la documentation des résultats et l'analyse de l'information disponible sous le prisme des principes de la valeur, de l'exploration concourante des alternatives et de la standardisation.

En ce qui concerne la valeur, nous avons identifié que les VNM sont utiles pour maintenir la position du corps (d415), pour se déplacer en utilisant des équipements spéciaux (d465), pour utiliser un moyen de transport (d470) et pour conduire un véhicule (d475). Cette liste d'activités et de participations issues de la CIF nous a conduits vers l'identification d'un public de PSH pour les VNM. En effet, quand nous prenons en compte les FR, les cycles et les autres véhicules à propulsion humaine, nous voyons les différents profils d'utilisateur possible, en allant des personnes dites valides jusqu'à quelques profils de PSH. Ainsi, il a fallu choisir une plage de profils pour lesquels il serait plus utile de concevoir un VNM. Suite au travail réalisé pour pouvoir établir le Tableau 57, et donc détailler un éventail de profils, nous décidons de concentrer nos investigations sur la paraplégie.

Notre décision par rapport aux Cycles a été de les considérer dans un contexte de conception complémentaire aux autres produits de la famille. En fait, nous identifions les Cycles comme une autre possibilité de plateforme liée aux variables suivantes : le nombre de roues, le nombre d'usagers, la propulsion utilisée et enfin la position des usagers utilisant les cycles. Ainsi, en considérant la composition de n'importe quel VNM à partir des quatre systèmes (structure, maintien postural, déplacement et systèmes supplémentaires), nous pouvons envisager le partage des deux derniers entre les plateformes de Cycles et celles des Fauteuils et d'Autres véhicules à propulsion humaine.

Ensuite, du point de vue de l'exploration concourante d'alternatives, nous avons développé deux plateformes de VNM en regroupant les FR et les Autres Véhicules à propulsion humaine. Ainsi nous avons deux plateformes proposées et présentées dans la Figure 106, notamment : les fauteuils à utiliser plutôt dans les espaces intérieurs et ceux utilisés plutôt dans les espaces extérieurs. Les catégories qui ne sont pas inclues dans ces deux plateformes ont été exclues de notre cas d'étude. C'est le cas des luges et traîneaux, crawlers et planches à roulettes, brancards sur roues, voitures à pédales et chariots de jeu, qui sont des PA très différents des autres catégories présentes dans les plateformes définies.

Dimension de la valeur	VNM
Essence	Le VNM doit résister aux sollicitations mécaniques d'une utilisation continue (compression, cisaillement, fatigue, impacts, intempéries, etc.). Quand nous parlons d'un FR, le produit doit être constitué comme un lieu de vie
Esthétique	L'utilisateur doit trouver le produit beau, en réfléchissant à la personnalité de l'individu en ce qui concerne les formats, matériaux et textiles utilisés, les couleurs et des autres aspects qui composent la signature visuelle du véhicule
Utilité	Déplacements en ville et dans les espaces internes aux bâtiments Lieu de vie pour la réalisation des plusieurs activités du quotidien
Utilisabilité	Manœuvrabilité dans les espaces réduits Facilité d'assemblage et désassemblage pour les différents usages et le maintien Eviter les points de compression sur la peux et des autres types de blessures sur les utilisateurs Considérer les environnements dans lesquels les VNM doivent transiter (exigences d'adaptation du PA au milieu)
Image	Le produit doit transmettre une image positive de l'utilisateur
Inclusion	Un produit qui permet aux PSH de sortir des cadres d'isolement et qu'elles puissent rentrer dans un contexte de convivialité avec tous

Tableau 64 – Définitions de la Valeur pour les VNM

La création de ces plateformes nous laisse une opportunité pour l'expérimentation de solutions qui soient transversales à plusieurs catégories. Ainsi, pour les FR utilisés dans les espaces intérieurs nous avons conservé les catégories de FR manœuvrés par une tierce personne, les landaus et poussettes, les fauteuils de transfert et les FR à propulsion podale. Les deux premières et les deux dernières catégories sont plus proches entre elles. Nous pouvons ainsi essayer le partage d'une structure entre ces deux paires de catégories ou pousser cette transversalité pour toute la plateforme.

En ce qui concerne les FR utilisés dans les espaces extérieurs, nous avons les FR manœuvrés par les deux mains, ceux à propulsion manuelle unilatérale, les FR à leviers et les dispositifs propulsés par le conducteur debout. Nous pouvons satisfaire les trois catégories de FR avec une base (cadre), et les dispositifs utilisés par la personne debout peuvent constituer un défi pour la conception d'un cadre dont la polyvalence est poussée à l'extrême.

Ainsi, après l'analyse de la première étape de conception vis-à-vis les principes présents dans le modèle de conception, nous sommes passés à l'étape suivante de Définition des VNM.

4.3.2 La Définition des Véhicules Non-Motorisés (VNM)

A partir des informations réunies et des décisions prises et/ou repoussées dans l'étape de Découverte nous avons pu démarrer l'étape de Définition des VNM. Pour cela, nous avons défini trois voies d'exploration de solutions où les plateformes établies en amont pouvaient être ciblées par les activités de conception. L'étape commence avec la modélisation des aspects techniques et d'interaction des VNM. Ensuite, nous passons à la recherche de solutions et, finalement, à la définition d'une architecture pour les produits.

4.3.2.1 Modélisation fonctionnelle des VNM

La modélisation fonctionnelle traite les fonctions techniques d'un produit, divisées entre fonctions de transformations, additionnelles et structurelles. La transformation est le but principal du produit, tandis que les autres types permettent la réalisation de cette conversion. La discussion sur la modélisation fonctionnelle est effectuée dans la Section 3.4.2.1. Les activités réalisées dans l'étape de Définition ont été conduites par trois voies d'analyse de manière à intégrer la conception des plateformes de FR et des Autres véhicules à propulsion humaine et aussi les Cycles. La création de ces alternatives se justifie par la difficulté d'englober toute la famille de VNM dans une même initiative de conception et par le focus de la conception sur une demande identifiée dans l'étape de Découverte : la convivialité entre les PSH et les personnes valides. En outre, celle-ci a été une manière de laisser ouvertes les possibilités d'exploration transversale entre les sous-classes de VNM.

Ainsi, dans la **première voie** le produit est identifié à partir de la connexion entre un FR et un Cycle (normalement une bicyclette à propulsion podale) connectés pour favoriser la convivialité, mais qui fonctionnent séparément. La propulsion et le guidage de l'ensemble sont effectués par le Cycle (situé à l'arrière de l'ensemble). Les VNM permettent le déplacement d'une PSH pour qui il est impossible de marcher (paralysie ou faiblesse des membres inférieurs) et d'une personne dite valide. Ainsi, cette voie de recherche de solutions est centrée sur la convivialité, la participation et l'aide à la sortie de l'isolement. L'utilisation de l'ensemble est prévue pour les espaces à l'extérieur, dans un contexte urbain (pistes cyclables, trottoirs adaptés et dans des environnements naturels pas très accidentés).

Dans la **deuxième voie**, le produit est identifié à partir d'un FR où est ajouté un dispositif amovible pour une propulsion manuelle (pédalage) connecté par la partie à l'avant du fauteuil. L'utilisateur de cet ensemble est quelqu'un pour qui il est impossible de marcher (paralysie ou faiblesse des membres inférieurs) et ayant les forces pour pédaler avec les bras. Cette voie de recherche de solutions est centrée sur l'autonomie et l'indépendance de la PSH et l'environnement d'utilisation suit les mêmes critères que première voie.

Enfin dans la **troisième voie** de recherche de solution le produit est identifié comme un FR dont les pièces peuvent être désassemblées et, dans un cadre idéal, être reconfigurées pour assembler un Cycle. En effet, le partage se fait aux niveaux de la structure, du système de déplacement et des systèmes supplémentaires ; tandis que le maintien postural est plutôt spécifique à chaque configuration. Cette voie de recherche de solutions est concentrée sur l'efficacité des systèmes de fabrication, car une fois le partage de pièces entre les fauteuils et les cycles maximisé, la tendance est l'obtention d'économies d'échelle sur la fabrication. L'environnement d'utilisation suit les mêmes critères que précédemment.

Une fois les voies de connexion définies entre la conception des plateformes de FR et des Autres véhicules à propulsion humaine et celle des Cycles, nous passons à la définition des fonctions pour ces

produits. Le Tableau 65 présente les fonctions de transformation pour les VNM en considérant les trois voies définies. En revanche, les fonctions sont listées de manière séparée pour les fauteuils, pour les cycles (ou de dispositif de pédalage) et pour l'ensemble (connexion ou conversion de FR et cycle). En effet, la transformation concerne le changement de l'état des PSH et ne font pas référence à des mécanismes internes de conversion d'énergie et/ou d'informations.

Fauteuil	Cycle	Ensemble
FT01 – Permettre les déplacements d'une PSH impossibilité de marcher (paralysie ou faiblesse des jambes) *FA01 – Guider le FR dans les directions* *FA02 – Propulser le FR* *FA03 – Freiner le FR* *FA04 – Bloquer le produit* *FA05 – Contact avec le sol* FT02 – Permettre le maintien du corps de la PSH de manière à être lieu de vie *FA06 – Supporter le tronc* *FA07 – Supporter les hanches et les jambes* *FA08 – Supporter les autres parties du corps*	FT03 – Permettre aux utilisateurs un déplacement en milieu urbain de manière pratique *FA09 – Guider le cycle dans les directions* *FA10 – Propulser le cycle* *FA11 – Freiner le cycle* *FA12 – Contact avec le sol* *FA13 – Permettre l'équilibre à travers une position adéquate d'utilisation*	FT04 – Permettre la convivialité entre une PSH et une personne dite valide dans quelques activités *FA14 – Garder les positions originales des usagers* FT05 – Permettre l'amélioration des déplacements d'une PSH en FR *FA15 – Assurer l'utilisation des fonctions de déplacement du fauteuil et du cycle*

Tableau 65 – Fonctions de transformation et additionnelles des VNM

Les fonctions FT01, FT02 et FT03 sont les mêmes pour les trois voies d'analyse. La fonction FT04 est plutôt associée à la première voie et la FT05 est associée à la deuxième voie. La troisième voie ne possède pas une vision d'ensemble entre en cycle (ou un dispositif de pédalage) et un fauteuil. Ensuite, les fonctions additionnelles ont été associées à ces fonctions de transformation, parce qu'elles sont des fonctions facilitatrices de ces dernières.

Le Tableau 65 montre ainsi que la fonction FT01 (déplacement) dépend des fonctions additionnelles de guidage, propulsion, freinage, blocage et contact avec le sol des fauteuils. La FT02 est associée aux supports des plusieurs parties du corps. A son tour, les fonctions additionnelles liées à la FT03 sont similaires à celles de la FT01. Ensuite, la FT04 est associée au maintien postural et équilibre de la conduite du cycle et la FT05 est liée à l'utilisation des fonctions de déplacement du fauteuil et du cycle simultanément. Finalement, les fonctions structurelles sont listées comme FS01 – Supporter les systèmes du FR, FS03 – Support les systèmes du Cycle, FS02 – Assurer la stabilité et la solidité du FR, FS04 – Assurer la stabilité et la solidité du Cycle et la FS05 – Lier les différents cadres. Cette dernière fonction traite des différentes liaisons possibles entres les cadres dans les trois voies de recherche de solution pour la conception. Ensuite, nous passons aux fonctions d'interaction avec les VNM.

4.3.2.2 Ergonomie et esthétique des VNM

L'ergonomie et l'esthétique des produits sont présentées comme une liste de fonctions d'interaction à observer lors de la conception. Les fonctions ergonomiques cherchent à rendre les produits plus adap-

tés aux utilisateurs, soit en termes physiques, soit en termes cognitifs. Le Tableau 66 montre les fonctions ergonomiques définies pour les VNM.

Fauteuil	Cycle	Ensemble
FEr1 – Assurer le confort postural de l'utilisateur FEr2 – Permettre un certain degré de liberté de mouvement à l'utilisateur FEr3 – S'adapter à l'anthropométrie de l'utilisateur FEr4 – Assurer la sécurité de l'utilisateur FEr5 – Minimiser l'effort (Physique et Mental) fourni par l'utilisateur	FEr6 – Assurer le confort postural de l'utilisateur FEr7 – S'adapter à l'anthropométrie de l'utilisateur FEr8 – Assurer la sécurité de l'utilisateur FEr9 – Minimiser l'effort (Physique et Mental) fourni par l'utilisateur	FEr10 – Faciliter la liaison entre FR et C FEr11 – Assurer la sécurité de l'utilisateur FEr12 – Minimiser l'effort (Physique et Mental) fourni par l'utilisateur

Tableau 66 – Fonctions ergonomiques des VNM

L'esthétique communication des informations sur le PA en ce qui concerne la description de ses fonctions, l'expression de ses propriétés, l'incitation à comment réagir vis-à-vis du PA et à son identification en tant qu'un VNM. Le Tableau 67 présente les fonctions esthétiques définies pour les VNM.

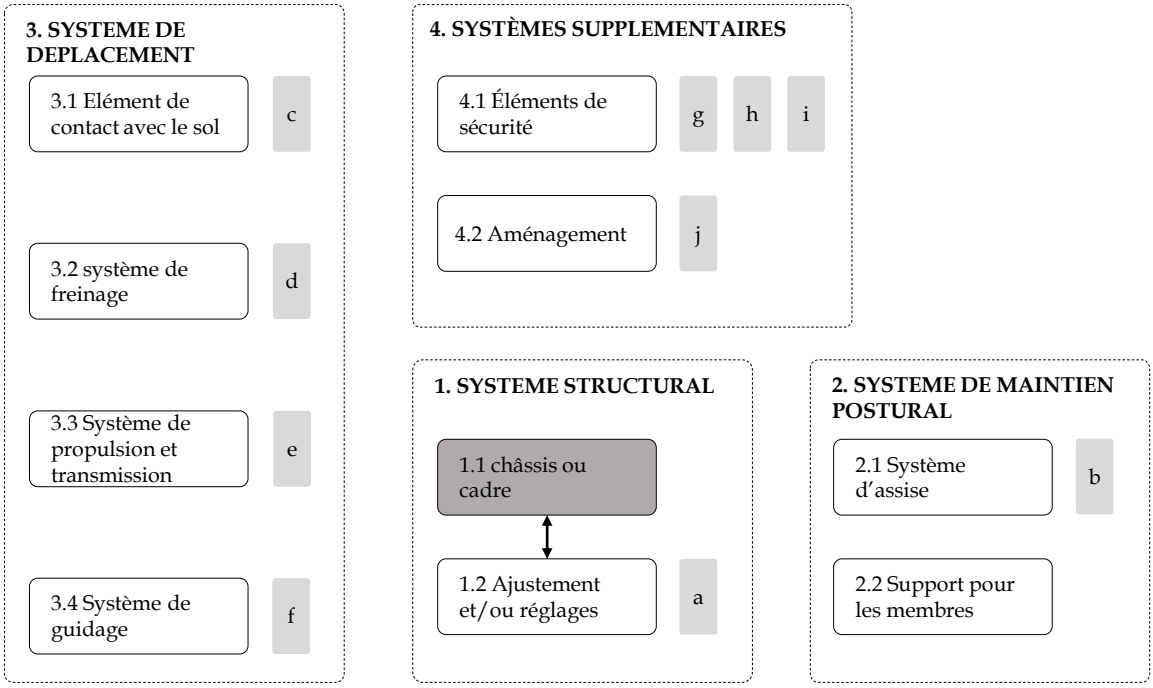
Fauteuil	Cycle	Ensemble
FEs1 –Transmettre une image de sportivité, modernité, confort et de plaisir d'utilisation	FEs2 –Transmettre une image de sportivité, modernité, confort et de plaisir d'utilisation	FEs3 –Transmettre une image d'harmonie, de convivialité et de plaisir d'utilisation

Tableau 67 – Fonctions esthétiques des VNM

A travers ces listes de fonctions techniques et d'interaction nous passons à la recherche des alternatives pour la solution du problème de conception de VNM.

4.3.2.3 Alternatives de solution et architecture des VNM

Après la modélisation de fonctions techniques et de fonctions d'interaction des utilisateurs avec le PA (ergonomiques et esthétiques), nous sommes passés à la recherche de solutions pour définir une architecture pour les VNM. Cette recherche a été faite de manière séparée pour les plateformes de fauteuil et d'autres véhicules à propulsion humaine et pour celle des cycles. En l'occurrence, les trois voies d'analyse définies en amont ont pour but d'approximer ces sous-classes. La Figure 118 présente la structure transversale pour les VNM reliée aux accessoires pour FR présents dans la norme ISO 9999. L'image indique la difficulté de relier les sous-systèmes entre eux du fait que l'architecture de chaque sous-classe peut être très différente.



ACCESSOIRES POUR LES VNM

a. Dispositifs permettant de raccorder un fauteuil roulant à une bicyclette
b. Système de retenue de l'occupant du FR
c. Pneumatiques et roues pour fauteuils roulants
d. Freins pour FR
e. Eléments de propulsion pour FR manuels
f. Systèmes de direction et de commande pour FR
g. Dispositifs d'éclairage et despositifs de signalement de sécurité pour FR
h. Dispositifs de protection des FR ou des personnes utilisant les FR contre le soleil ou les intempéries
i. Dispositifs permettant de surveiller les alentours des FR
j. Dispositifs attachés aux FR permettant de porter ou de transporter des objets

Figure 118 – Structure transversale pour les VNM et ses accessoires

Pour cela nous avons schématisé les intersections entre les types de fonctions et entre les fonctions et les différents systèmes qui composent les VNM comme indiqué dans la Section 3.4.2.3, notamment dans la Figure 63 (page 154). Pour cela, nous avons travaillé avec trois systèmes obligatoires (Structure, Maintien postural et Déplacement) et nous avons laissé les systèmes supplémentaires de côté pour une analyse ultérieure. Ainsi, nous avons listé toutes les fonctions dans le diagramme d'interaction entre les systèmes. Le résultat est montré dans la Figure 119.

Les fonctions de transformation ont été placées dans le triangle central qui fait la jonction entre les systèmes une fois que ces fonctions seront répondues à partir de l'ensemble de toutes les autres fonctions. L'analyse des autres fonctions suit un ordre relatif aux systèmes individuels et ensuite après par rapport aux influences entre eux. Cette relation entre les systèmes a été analysée à l'intérieur d'une plateforme et aussi transversalement entre elles.

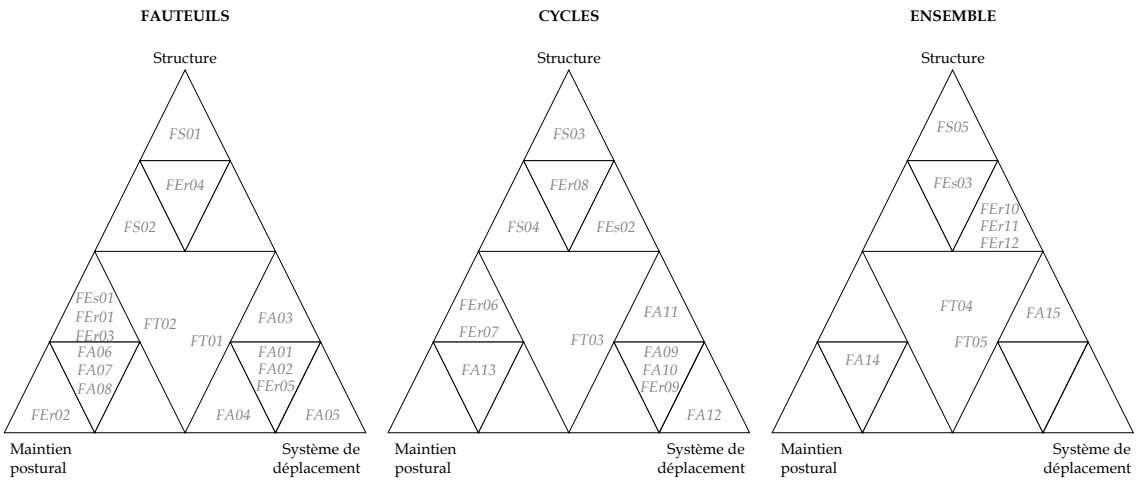


Figure 119 – Interaction entre les systèmes et les fonctions des VNM

Structure

En initiant notre analyse des fonctions à partir de la structure dédiée aux plateformes de FR, nous remarquons sa fonction consistant à Supporter les systèmes du produit (FS01) qui doit être pensée pour permettre l'assemblage de plusieurs catégories de FR et/ou d'Autres véhicules à propulsion humaine. La recherche de solutions pour cette structure est faite à partir des trois voies de connexions avec les Cycles. Ainsi, la structure doit être connectable à un cycle ou à un système de pédalage, ou encore elle doit partager quelques éléments de sa composition avec le cadre de cycles.

Ces aspects nous ont mené à l'analyse de quelques options pour la composition de la structure des cadres pour les fauteuils, soit en regardant par la vue latérale du cadre, soit par la vue frontale, soit à travers quelques alternatives pour rendre le cadre rigide ou pliable. Tout d'abord, nous avons défini trois options de profil latéral pour le cadre, comme le montre la Figure 120.

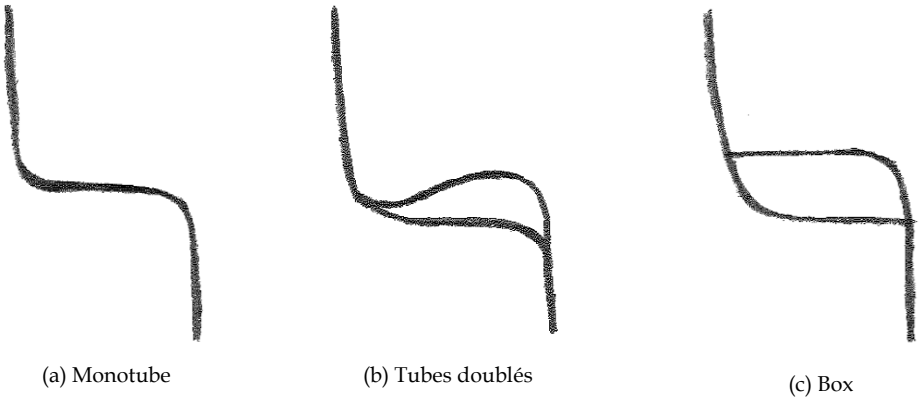
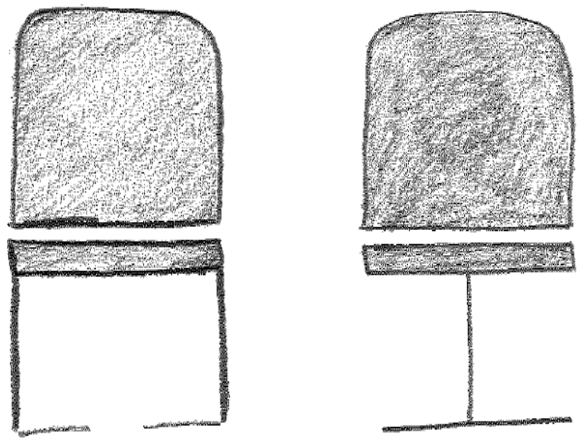


Figure 120 – Alternatives de cadre pour FR : vision latérale

La Figure 120 présente les alternatives de structure monotube (a), avec des tubes doublés (b) et de box (c). La première option permet que le cadre soit plus compact et léger, malgré quelques possibles faiblesses dans sa rigidité. A son tour, les deux dernières options sont plus lourdes et sont progressive-

ment plus encombrantes. En effet, l'aspect latéral des cadres est analysé de façon simultanée à sa vision frontale et ses possibilités de pliage ou exigences de rigidité.

La Figure 121 présente les deux options considérées lors de la conception. D'abord une structure latérale (a) qui soutient le FR à partir de ses deux côtes et ensuite une structure centrale unique (b) pour le soutien de tous les systèmes du FR.



(a) Strucuture latérale

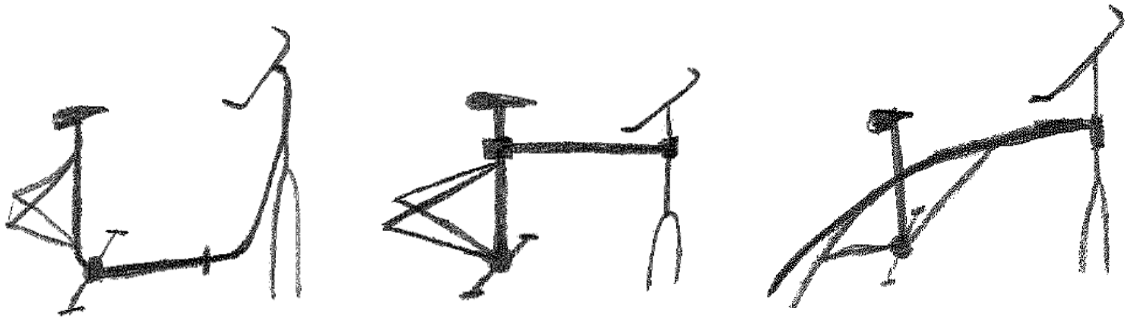
(b) Structure centrale

Figure 121 – Alternatives de cadre pour FR : vision frontale

Ensuite, nous sommes passés à l'analyse des possibilités pour la structure du cycle. Elles doivent supporter les systèmes du produit (FS03), permettre l'assemblage de plusieurs catégories de cycle, permettre la connexion avec le FR (à partir d'un cadre démontable ou pliable), et permettre de partager quelques éléments de leur composition avec le cadre des FR. Le cadre pour cycles doit être stable et solide (FS04) en prenant compte le centre de gravité du véhicule et celui de l'utilisateur et les sollicitations mécaniques de l'usage. La structure doit être sécurisée (FEr8) et transmettre une image de sportivité, de modernité, de confort et de plaisir de l'utilisation du produit (FEs2). En outre, par rapport aux liaisons possibles entre les sous-classes de produits de la famille de VNM, les structures doivent permettre la liaison (FS05) entre cycles et fauteuils et celle-ci doit être facile (FEr10), sécurisée (FEr11) et minimiser l'effort de connexion et de pédalage (FEr12). Finalement, les deux structures doivent être pensées dans un cadre d'harmonie visuelle, de convivialité et de plaisir de l'utilisation (FEs3). En ce qui concerne ces liaisons, nous avons défini quelques options pour l'intégration entre les sous classes, en prenant en compte la position de la liaison, la technologie d'accrochage et de pivotement.

Ainsi, nous avons essayé trois possibilités de cadre, comme le présente la Figure 122. Toutes ces possibilités sont basées sur une utilisation du vélo par une personne valide et dans un contexte de convivialité avec une PSH. Toutefois, cette utilisation du vélo est complémentaire aux autres usages du vélo qui se font de manière indépendante.

Le premier est un vélo de ville (a) offrant la possibilité de désassembler complètement sa partie frontale (potence) pour une connexion de la partie arrière du fauteuil au vélo, à la hauteur de l'axe des roues du fauteuil. Le problème principal serait le passage entre le format "vélo connecté" et le format "vélo seul" à cause de l'encombrement de la potence du vélo. Effectivement, il serait difficilement envisageable de transporter cette potence jusqu'à un endroit où le cycle et le FR seraient déconnectés, pour ensuite réassembler le vélo pour que chaque personne poursuive sa route.



(a) Vélo de ville (b) Vélo tout chemin (c) Vélo pliable

Figure 122 – Alternatives de cadre pour les cycles

La deuxième solution est un vélo tout chemin (b) qui permet également que l'utilisateur fasse le démontage de la potence pour la connexion à l'arrière du fauteuil. En revanche, dans ce modèle, la barre horizontale du cadre pourrait être réglée en hauteur, permettant ainsi la liaison avec le fauteuil à différentes endroits (l'axe de roues, la partie arrière de l'assise ou le dossier du FR). Cette solution utilise un vélo sportif, rapide, stable à grande vitesse et avec la possibilité d'utilisation du même diamètre de roues que le FR, mais qui présente les mêmes inconvénients que la première solution (transport de la partie frontale).

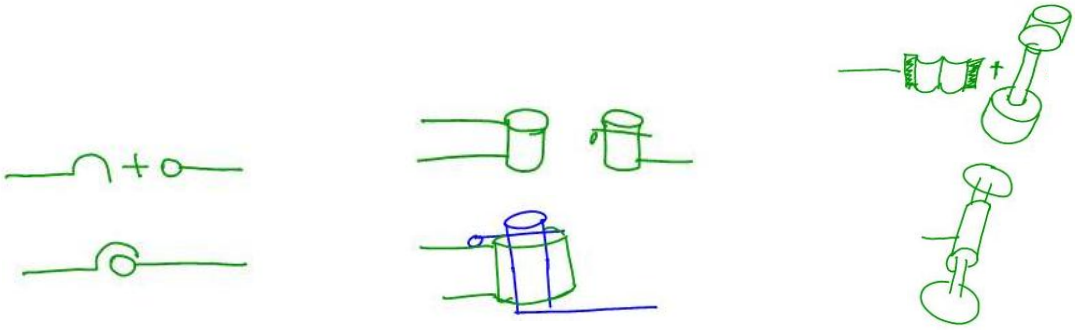
La troisième option proposée de manière transversale pour les trois voies est un vélo pliable (c). Ce cadre possède quelques particularités comme la possibilité de plier et de démonter le vélo. Dans la voie 1, le cycle serait lié à l'arrière du fauteuil de la même manière que précédemment. Par contre, la potence du cadre de ce vélo pliable (c) serait facilement transportable dans un sac pour revenir à la configuration de cycle entier, une fois le FR déconnecté. Une autre possibilité pour la potence serait son utilisation comme partie motrice connectée par la partie avant du FR et manipulée par la PSH. Pour cela, il serait nécessaire rendre motrice la roue avant connectée à cette potence.

Finalement, notre décision relative au type de cadre a été de partir sur la conception d'un vélo pliable urbain. Le cadre serait plus compact et l'utilisation alternée entre vélo et propulsion d'assistance à une personne en fauteuil serait plus simple. De plus, le partage de pièces ou d'éléments du cadre entre la plateforme de cycles et celle de fauteuils nous a apparu une idée intéressante, mais difficile à exécuter. Nous recherches ont mené à quelques possibilités (comme montre la Figure 123), mais qui ne seraient pas très avantageuses en termes de gain de coût de fabrication, du fait que les éléments seraient di-

mensionnés pour des sollicitations plus fortes. Cela serait un gaspillage pour l'autre plateforme. De plus, le nombre de contraintes posées sur la conception des deux plateformes à partir des liaisons entre les cadres serait énorme.

Figure 123 – Parallèle entre les cadres pour FR et pour les cycles

Enfin, par rapport au type de technologie utilisée pour réaliser la connexion entre les cadres du FR et du cycle, nous avons pensé à trois options : une liaison du type caravane, des cylindres intercalés et une mâchoire plus cylindre. La première option est la plus simple et commune à trouver sur le marché, ainsi elle aurait un bon impact sur le prix de la solution. En revanche, il est nécessaire d'identifier son comportement sur une propulsion et si la stabilité de l'ensemble permet un guidage facile et sécurisé. La deuxième option profite de la liaison déjà présente sur le cycle (entre le cadre et la tige du guidon). Pour sa mise en place, l'ajout d'une pièce sur le cadre du FR serait nécessaire et aussi de le préparer à recevoir le cadre du cycle. Finalement, la troisième solution implique moins de changement pour le fauteuil, mais nécessite d'ajouter la fonction pliage sur la pièce de liaison en permettant le guidage de l'ensemble.



(a) Caravane

(b) Cylindres intercales

(b) Mâchoire plus cylindre

Figure 124 – Alternatives de liaison entre cadres de cycle et de FR

Système de maintien postural

Le système de maintien postural des fauteuils est composé par plusieurs éléments, mais à la base, juste les supports du tronc (FA06) comme les assises et les dossiers sont présents et toutes obligatoires. Les supports pour les hanches et les jambes (FA07) comme les accoudoirs et les repose-pieds peuvent être ajoutés, ainsi que les supports pour les autres parties du corps (FA08) comme pour la tête. Tous ces supports doivent assurer le confort postural (FEr1), permettre un certain degré de liberté de mouvement (FEr2) et s'adapter à la taille de l'utilisateur (FEr3). Finalement, le système doit transmettre une image de sportivité, de modernité, de confort et de plaisir lors de l'utilisation (FEs1).

Tout d'abord, nous avons analysé le maintien postural à partir de sa partie la plus délicate, l'assise, et nous avons défini trois options (Figure 125). La première alternative utilise le cadre du FR comme la structure où les coussins sont posés. Cette solution implique moins de pièces pour le maintien postural mais un impact certain sur les exigences du cadre et une potentielle difficulté d'emplacement et de réglage du système de déplacement.

(a) Assise posée sur la structure

(b) Dossier séparé de la structure

(c) Assise séparée de la structure

Figure 125 – Alternatives d'assise pour les FR

La seconde alternative (Figure 125b) prévoit une structure avec le dossier séparé. Cela soulage la structure du FR et facilite le démontage du FR pour son rangement (par exemple, à l'intérieur des voitures). En compensation, il s'agit d'une solution plus fragile et qui demande une technologie de connexion plus robuste. Finalement, la dernière alternative est d'avoir une assise complètement assemblée avec une structure à séparer et qui est assemblée sur le cadre du FR. Cette solution libère quelques angles de la structure du cadre et permet plus d'alternatives d'assise sans altération du produit complet. En revanche, cela ajoute plus de poids au produit et requiert plus d'attention à la compatibilité entre cadre et assise.

Relativement aux coussins utilisés dans le FR, nous avons considéré les options de l'offre de plusieurs options de coussin (formes, tailles, densités et couleurs) et l'élaboration d'un coussin personnalisé pour l'utilisateur à travers un processus de création d'une image 3D des particularités anatomiques de

la personne et de l'usinage d'un coussin selon ses dimensions et ses formats. La première solution est moins chère, mais elle n'est pas forcement la solution idéale pour toutes les situations. En effet, la décision sur cette question a été repoussée vers les étapes suivantes, ajoutant la contrainte d'une fixation des coussins sur la structure de la même manière dans tous les endroits, et ceci indépendamment des alternatives développées pour les coussins. Ainsi, chaque travail de conception peut être réalisé en parallèle. La Figure 126 présente les éléments recevant les cousins sur la structure du fauteuil.

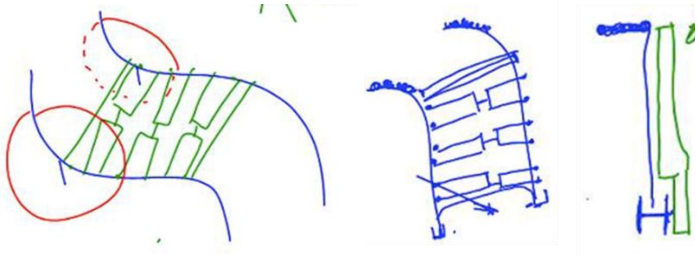
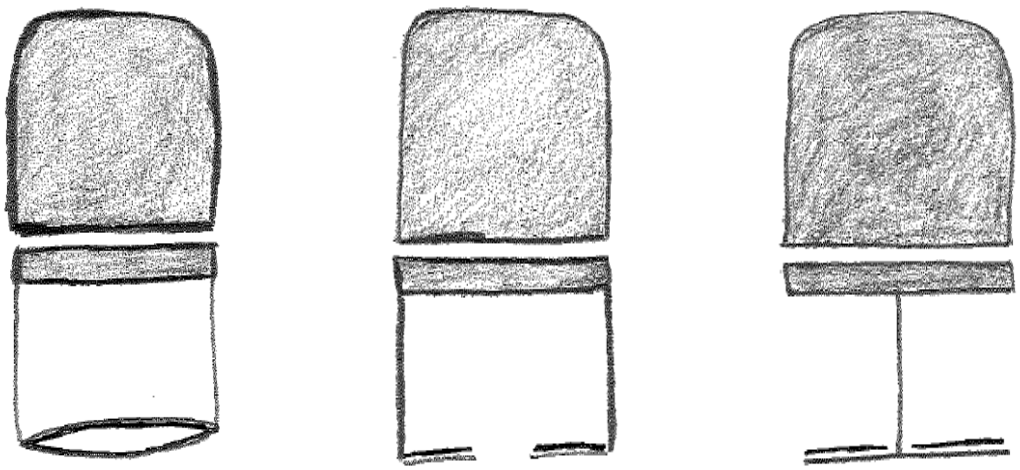


Figure 126 – Eléments recevant les cousins du FR (assise posée sur la structure)

Ensuite, le maintien postural a été étudié sous l'optique des autres sous-systèmes comme les accoudoirs, les garde-boues, les repose-tête et les repose-pieds. Les accoudoirs peuvent apporter quelque confort pour l'usager lors du repos, mais ils ont des impacts sur la difficulté de transfert, la réduction de liberté de mouvement et la difficulté d'accès aux roues ou encore de rattraper les objets par terre. Ainsi, nous avons décidé de ne pas les utiliser. Le repose-tête a été envisagé comme un optionnel pour quelques utilisateurs. A son tour, le garde-boue a été vu comme important pour l'utilisateur en ce qui concerne la propreté de la personne et de ses habits. Ainsi, l'emplacement de cet accessoire doit être prévu dans la structure du PA. Finalement, nous avons réfléchi aux repose-pieds. En effet, nous avons vérifié que la construction de ces dispositifs constitue un des éléments de liaison entre les deux plateformes (Figure 106, page 211). Cela veut dire que les FR avec repose-pieds rabattables permettent la propulsion podale et son utilisation comme fauteuil de transfert. Les options définies sont présentées dans la Figure 127.



(a) Dépendant et rabattables

(b) Séparés et rabattables

(c) Centraux et rabattables

Figure 127 – Alternatives pour les repose-pieds

La première solution comprend des repose-pieds dépendants et rabattables. L'alternative est la plus robuste et apporte une image de sportivité au FR. De plus, elle renforce la rigidité du cadre en reliant ses deux côtés. En revanche, il s'agit d'une option plus lourde et qui empêche le pliage du cadre en « X ». Dans la deuxième solution les repose-pieds sont séparés et rabattables. Cette solution a un impact positif sur l'encombrement, sur les réglages du FR et permet aussi un pliage du cadre en « X ». En revanche, comme point négatif, ils sont plus fragiles et la solution visuelle et moins satisfaisante.

Finalement, les repose-pieds centraux et rabattables sont associés au cadre (Figure 121b). Ils sont plus légers, moins encombrants, faciles à régler et visuellement symétriques. Notre choix dans ce contexte a été pour l'alternative (a), en considérant la définition antérieure pour le cadre.

Par rapport aux cycles, ce système doit assurer l'équilibre de l'utilisateur à travers une position adéquate d'utilisation (FA13), du confort postural (FEr6) et de l'adaptation à son anthropométrie (FEr7). Cela dépend de plusieurs contacts de l'utilisateur avec le produit, comme la selle ou le siège, les pédales et le guidon. En effet, les fonctions liées au maintien postural sont très influencées par la structure et par le système de déplacement (comme le montre la Figure 119). Par rapport aux composants directement liés au maintien, les selles disponibles dans le marché peuvent être réutilisées dans cette conception. Finalement, une fois que le cycle et le FR sont connectés, ils doivent conserver les positions originales des usagers (FA14). Encore une fois nous voyons l'importance de la structure des produits et de leur connexion. Ainsi, l'étude sur le maintien postural dans les cycles sera faite lors de l'étude de sa structure.

Système de déplacement

En ce qui concerne le système de déplacement d'un FR, le guidage (FA01) est fait avec le même système que la propulsion (FA02). Le système doit permettre la fluidité du FR dans toutes les directions, avec une bonne maniabilité autour des obstacles (pivoter dans les espaces, passer sous les surfaces, se rapprocher, manœuvrer dans les espaces restreints) et en franchissant des obstacles (maniabilité en terrains meubles, franchir les obstacles élevés…). De plus, il est important de donner à l'utilisateur la versatilité de propulser son FR de plusieurs manières selon la progression des efforts due à la vitesse et à l'inclinaison du sol. Nous avons défini trois alternatives qui peuvent être utilisées de manière alternée selon les conditions du déplacement (Figure 128). Ainsi, les propulsions à partir de mains courantes, de leviers et ou réalisées par une tierce personne à partir de poignées à l'arrière du FR peuvent être disponibles sur le même produit.

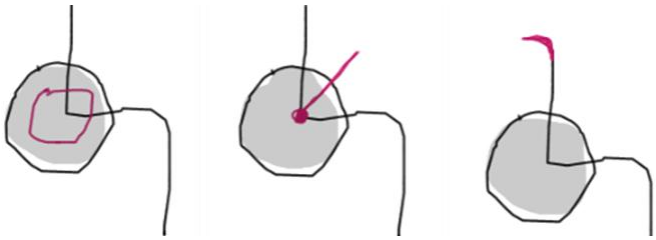


Figure 128 – Alternatives pour le système de propulsion du FR

L'utilisation d'un système de leviers pour la propulsion a été considérée comme une alternative importante dans les cas où l'infrastructure n'est pas accessible et/ou les chemins sont très accidentés. Ainsi, nous avons réfléchi aussi sur les emplacements et la technologie à utiliser pour la propulsion (engrenages ou chaîne de vélo) et sur le mode de freinage (rétropédalage ou compression des roues avec les leviers). L'étude détaillée de ces aspects a été repoussée vers l'étape de Développement.

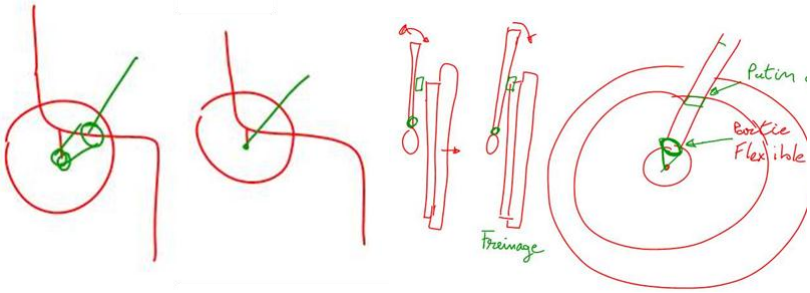


Figure 129 – Étude sur les emplacements et alternatives de propulsion et freinage avec leviers

La propulsion et le guidage sont étroitement liés aux roues utilisées dans les FR (FA05), en permettant un contact stable et adéquat avec le sol et un mouvement souple dans toutes les directions (maniabilité). Cela dépend des types et du nombre de roues utilisées, de l'angle de leur fixation et de leur bon positionnement par rapport à l'utilisateur. En effet, nous avons pensé à quelques alternatives comme laisser les roues à un angle fixe droit ou incliné, ou avec l'option de changer l'inclinaison de manière continue ou discrète (Figure 130). Notre décision dans ce cas a été de choisir l'option de changement d'inclinaison des roues. Par contre, les discussions sur les choix technologiques ont été repoussées vers l'étape de Développement.

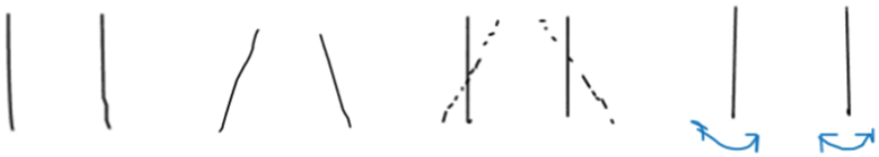


Figure 130 – Alternatives pour le changement d'inclinaison et des angles de roues d'un FR

Interrompre la propulsion est aussi important que le créer, parce que cela joue un rôle essentiel dans la sécurité de l'utilisateur. Ainsi, l'objectif de la conception a été d'intégrer le freinage (FA03) dans le système de propulsion, en permettant le ralentissement et l'arrêt du FR en toute sécurité. De plus, le système doit aussi permettre le blocage du produit (FA04) pour éviter les déplacements non désirés et

pour maintenir une position d'arrêt. Dans ce cadre, les systèmes traditionnels de blocage nous ont apparu bien assez bons, sauf par rapport à leur emplacement pour l'utilisation par une tierce personne (voir Figure 111, page 220). Finalement, toutes les solutions pensées et sélectionnées doivent chercher à minimiser l'effort (physique et mental) fourni par l'utilisateur (FEr5) pour optimiser l'efficacité du déplacement et de sa sécurité, en facilitant l'accès et l'utilisation des systèmes de freinages, blocage, propulsion et guidage (éviter les erreurs d'utilisation).

Ensuite, nous sommes passés à l'analyse des possibilités pour le système de déplacement du cycle. Le cycle doit être guidé dans toutes les directions (FA09) en maintenant l'équilibre de l'utilisateur, avec une bonne maniabilité autour des obstacles (pivoter dans les espaces, passer sur les surfaces, se rapprocher, manœuvrer dans les espaces restreins) et en franchissant des obstacles (maniabilité en terrains meubles, franchir les obstacles élevés, etc.).

La propulsion du cycle (FA10) doit être faite à l'aide d'un système de pédalage et transmission des efforts à la roue motrice du cycle. Le système doit permettre une progression des efforts selon la vitesse et l'inclinaison du sol. Cela pourra inclure un système de vitesses, préférentiellement actionné de manière autonome. Cette recommandation est issue du besoin de déconnecter la partie avant du vélo lors de sa connexion avec le FR et que le contrôle sur le changement de vitesses est placé sur le guidon du produit. Ce qui rendrait inaccessible les commandes de freinage et de changement de vitesses placées sur le guidon. De plus, il pourra être intéressant d'inclure un mécanisme qui rend la roue avant motrice permettant à la PSH de l'utiliser pour la traction de son FR pendant que la personne valide pousse avec son vélo connecté par arrière.

Ensuite, le freinage du cycle doit être fait en toute sécurité (FA11). Ce système est normalement commandé à partir du système de guidage et intégré aux roues. Nous avons considéré trois options : le système à patins, le système à disque et celui réalisé par rétropédalage. La première option est très simple, pas chère et d'entretien facile, mais demande beaucoup d'effort de freinage et n'est pas efficace en temps de pluie. La seconde option est efficace en toute circonstance et exige un effort de freinage minimal, toutefois elle présente une difficulté d'entretien et est plus chère. Finalement, le système de freinage par rétropédalage, moins encombrant, n'a pas besoin de câbles ni d'autres éléments, même s'il exige une bonne intuition de la plupart des utilisateurs. A partir du moment où il y a une connexion avec un FR par sa partie arrière, les systèmes de freinage doivent être intégrés. Ainsi, le FR peut prévoir un système de freinage actionné par des prises positionnées sur les poignées à l'arrière du fauteuil qui sont utilisées pour le guidage. Cette option pourra aussi aider un soignant lors du blocage d'un fauteuil. Une autre alternative peut être l'utilisation du freinage par rétropédalage, car celui-ci ne demande pas l'utilisation de câbles. La décision sur cette question dépendra de tests effectués avec des prototypes et l'analyse de coûts-avantages.

Les roues du cycle (FA12) doivent permettre un contact adéquat avec le sol, la stabilité de l'utilisateur et sa sécurité. Normalement, comme notre choix a été de préparer un vélo pour les déplacements en

ville, la décision sera plutôt dirigée vers la sélection de roues plus étroites. Si possible, le FR et le cycle peuvent conserver les mêmes spécifications de roues utilisés.

L'effort (physique et mental) fourni par l'utilisateur doit aussi être minimisé (FEr9), notamment parce qu'il est responsable (dans la voie 1) du déplacement d'une autre personne. Ainsi, l'architecture finale doit faciliter l'accès et l'utilisation des systèmes de freinages, de propulsion et de guidage (éviter les erreurs d'utilisation). De plus, il est important d'optimiser l'effort de propulsion, la force de freinage et de guidage. Finalement, à partir de la connexion des FR et des Cycles, l'utilisation des fonctions de déplacement doit être possible (FA15).

Finalement, nous avons vérifié que les décisions sur les différents systèmes des VNM sont très imbriquées unes dans les autres. Ainsi, nous avons créé un outil pour analyser l'impact des décisions prises lors de la conception des fauteuils sur la maniabilité, la stabilité, sur l'efficacité de la propulsion et des autres aspects de la performance du produit. L'outil est montré dans la Figure 131. Dans l'image, nous voyons l'action ou d'une possible décision des concepteurs, son illustration dans un FR et les conséquences positives (bleu) et négatives (rouge) dans ses aspects de la performance déjà mentionnés.

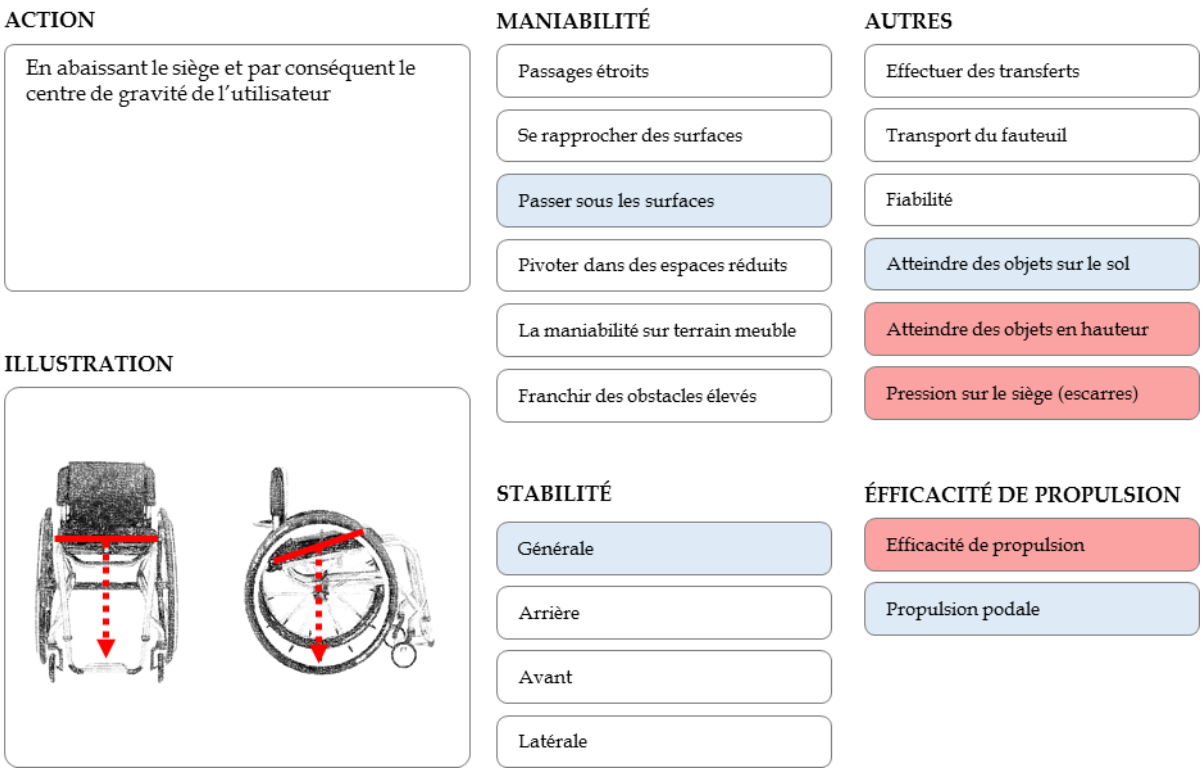


Figure 131 – Analyse de l'impact de décisions de conception sur la performance de VNM

Pour conclure, nous vérifions que dans cette étape de Définition, plusieurs décisions ont été prises, comme le type de cadre de FR et même le type de cycle. Quelques interférences entre les deux plateformes ont été déjà prévues et respectées lors de la création et du choix des alternatives et quelques décisions ont été repoussées vers l'étape de Développement. Ces décalages sont clairement liés à la

motivation de prendre une décision avec plus de compréhension sur les impacts globaux, sur la performance du produit avec les utilisateurs et aussi dans les systèmes de fabrication et distribution.

4.3.3 Considérations finales sur le cas d'étude sur les VNM

Au cours de la Section 4.3, nous avons présenté les résultats des initiatives de conception de VNM, comme des FR, des Cycles et d'Autres Véhicules à propulsion humaine. Le cas d'étude a été conduit à partir d'une version du modèle de conception plus proche de celle introduite dans le Chapitre 3.

Par rapport à l'étape de Découverte, les avancements principaux obtenus à travers cette initiative ont été concentrés sur une préoccupation plus accentuée sur le contexte d'utilisation du PA, soit ses aspect tangibles, soit ses aspects intangibles. D'un autre côte, sur l'étape de Définition, les améliorations ont été concentrées sur la création d'alternatives pour le problème de conception à partir d'une structure générique de systèmes qui composent tous les produits de la Famille de VNM. En outre, cette création a été menée avec un regard simultané sur les fonctions techniques et les fonctions d'interaction des VNM. Finalement, suite à la réalisation des deux étapes du cas d'étude sur les VNM, nous avons pu mettre à jour les apports ont été considérés suffisants pour une version finale du modèle de référence pour la conception de PA.

4.4 CONCLUSIONS SUR LES CAS D'ETUDE

Les deux cas d'étude réalisés ont permis d'améliorer la proposition du modèle de conception pour les PA pour les PSH. Le premier cas, centré sur les Dispositifs d'aide à la marche (DAM) nous a aidé à avancer dans le contenu de la méthode de conception et aussi sur la manière de mettre en application les principes de conception. Le second cas, focalisé sur la conception de Véhicules Non-Motorisés (VNM), nous a permis d'avancer ou d'approfondir les propositions des étapes initiales de conception. Une comparaison entre les contributions de chaque cas est fournie par le Tableau 68.

La contribution principale de la réalisation de deux cas d'étude a été l'accent mis sur l'importance de l'amélioration continue des méthodes de conception de produits, en particulier dans notre contexte, les PA. Cela ne comprend pas la seule accumulation de plusieurs expériences de conception, mais une réflexion active et critique sur la manière de concevoir un PA, l'enregistrement de leçons apprises et la mise à jour du modèle de référence pour que celui-ci soit vraiment un outil de support au processus de conception de PA. Enfin, le Chapitre 5 apporte quelques discussions et considérations finales sur les résultats des travaux menés, en analysant aussi ses limitations et en proposant quelques initiatives pour l'avancement de ce domaine de recherche.

Modèle de conception	Dispositifs d'aide à la marche (DAM)	Véhicules non-motorisés (VNM)
Principes de conception		
Valeur	La confirmation de l'importance de la conception d'un PA qui puisse évoluer avec les changements de besoin des utilisateurs à partir de l'amélioration et la dégradation de son état de santé	Le focus dans les aspects moins tangibles de la relation entre l'utilisateur et un PA, comme par exemple l'image de la personne, les émotions développées vis-à-vis le PA et la convivialité avec les autres personnes
Exploration concourante	La vérification de la possibilité réelle de délai de décisions de conception envers les étapes plus en aval du processus de conception et des avantages qui cela apporte à conception	L'idée de recherche de solutions à partir de voies a ajouté une autre particularité à l'application du principe
Standardisation	Le guidage de la conception à partir de la classification de PA et de situations de handicap nous a indiqué une manière de fixer les solutions standards interchangeables et qui ciblent différents profils personnels « voisins »	La confirmation de l'utilité de l'approche développée lors de la mise en œuvre du premier cas d'étude et l'approfondissement de la réutilisation de composants utilisés dans les produits destinés au grand public
Étapes et Activités spécifiques de conception		
Découverte	Identification de la possibilité de concevoir un PA à partir d'une plateforme adaptable à un éventail de profils d'utilisateur	Focus sur l'importance de considérer le contexte d'utilisation (tangible et intangible) lors de la conception d'un PA
Définition	L'association des accessoires comme alternatives pour composer les systèmes de la structure transversale du PA (Figure 89)	Création d'alternatives pour le problème de conception en regardant simultanément les fonctions techniques et d'interaction à partir d'une structure générique de systèmes qui composent tous les produits d'une famille
Développement	Mise en relief de l'importance de la participation active et anticipée des fournisseurs des composants des PA. Importance du processus de prototypage dilué tout au long de la conception pour la prise de décision avec plus de précision sur les détails du produit et de son usage	-
Distribution	Contrôle de variétés à l'intérieur de la fabrication, de l'assemblage et des autre processus liés à la distribution d'un PA. Importance d'anticiper l'impact de la conception dans ces processus à travers une logique de conception intégrée	-

Tableau 68 – Analyse des cas d'étude : les contributions au modèle de conception de PA

5 DISCUSSIONS ET CONSIDERATIONS FINALES

Le dernier chapitre de cette thèse a pour objectif de discuter des travaux réalisés, notamment sur le modèle de référence pour le processus de conception de PA pour les PSH et sur les cas d'étude réalisés. Ces expériences ont été centrées dans le cadre de la mobilité personnelle, notamment sur les familles des Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM) et sur les Véhicules non-motorisés (VNM) et ont servi à la mise en application et aux améliorations de nos propositions théoriques. Le chapitre est organisé en deux sections, la discussion à propos des résultats du travail (5.1) et les limitations de la recherche comportant des propositions pour les travaux futurs (5.2).

5.1 DISCUSSIONS DES RESULTATS

La recherche réalisée dans le cadre du handicap, notamment sur les PA avait pour but d'identifier comment les concepteurs de ces produits pouvaient accorder les besoins des PSH et les exigences des fabricants de PA lors de la conception de ces dispositifs. En effet, la conception est le moment où tous les attributs d'un produit sont définis, c'est donc qu'il existe le plus de marge de manœuvre pour réaliser un tel accord d'objectifs. Pour atteindre cela, nous avons développé une méthode de recherche qui est présentée dans la Section 1.3.2 (Figure 2) et qui est complétée par quelques questions spécifiques et par la proposition de quelques hypothèses visant à fournir une explication initiale à chaque interrogation.

Tout d'abord, pour pouvoir proposer un outil qui va contribuer à une situation donnée, il est nécessaire de la connaitre. Ainsi, nous avons vérifié comment les concepteurs approchent le problème de conception d'un PA pour les PSH et quelles étaient les conséquences de ces approches sur les produits conçus. Nous avons développé l'hypothèse que les PA et les produits conçus pour le grand public constituent deux groupes qui présentent des intersections faibles. De plus, nous avons observé qu'une approche collaborative entre ses terrains est peu explorée et donc que les avantages ne sont pas connus.

La Section 2.3 a été élaborée selon cette logique. Dans cette partie nous avons discuté la question de savoir si les PA (spécialisés dans le cadre du handicap), les produits conçus avec une approche universelle et ceux destinés au grand public constituaient une dichotomie (antagonistes) ou un continuum où les frontières entre ces groupes de produits sont plus fluides et les intersections plus importantes que notre perception initiale. La littérature analysée nous a montré que les produits conçus pour le grand public peuvent avoir des composants partagés avec les PA et vice-versa. De plus, un produit conçu dans le cadre du handicap peut servir d'inspiration pour l'amélioration de l'usage d'un produit pour le grand public, ou même donner naissance à des produits universels. Cette analyse est présentée dans la pyramide de capacités des utilisateurs et sa relation avec les approches de concep-

tion (Figure 32, page 112). Cela exerce aussi une influence sur le modèle de conception proposé dans le principe de la standardisation du produit et du processus (voir Figure 46, page 136).

Nous nous somme ensuite interrogé sur la composition et/ou sur les caractéristiques d'un modèle de référence à la conception de PA. Nous avons formulé l'hypothèse qu'un tel modèle devrait avoir des aspects philosophiques qui assurent que la conception va se dérouler autour de quelques principes généraux et des aspects pratiques de manière à assurer l'efficacité du processus de conception. Dans notre contexte, pour que l'hypothèse soit valide, ces deux aspects doivent être pris en compte par les concepteurs. En revanche, la majorité des modèles de conception aborde juste un des deux aspects. Cela veut dire qu'il existe des supports au processus de type « guides » pour la prise de décision sur les attributs du produit et d'autres plus attachés à la question du management du processus et/ou à son organisation dès la définition du problème, en passant par la recherche de solutions et puis par fixation des solutions. Dans notre proposition, nous avons essayé de concentrer l'attention des concepteurs sur ces deux parties de la conception : le contenu du projet et le déroulement du processus. Cette discussion a eu lieu dans la Section 2.1.2 du chapitre de l'Etat de l'art et dans les Sections 3.1 et 3.2 du chapitre où nous présentons le modèle de conception proposé. La logique d'organisation du modèle suit cette division entre les aspects de déroulement du processus, notamment avec les étapes et ses activités spécifiques, et d'orientation de la conception, avec les principes de conception et les activités de transition.

Par ailleurs, une troisième notion a été interrogée dans ce travail. Elle se concentre sur le rôle de la valeur perçue par les PSH comme un aspect central de la conception du PA. L'analyse de cette perspective a été décrite dans la Section 2.2.1.1, notamment la prise en compte de la valeur dans le cadre de la conception *lean* et la Section 2.2.2.2 qui traite de l'élicitation de la demande dans le contexte de la customisation de masse. Ces dernières sections, et plus spécialement les types de valeurs présentés dans le Tableau 26, ont servi d'inspiration pour la construction des dimensions de la valeur pour les PSH (Section 3.3.1).

Nous avions aussi, dans le contexte de la valeur, proposé une hypothèse sur le fait que les PA conçus pour des PSH ayant des besoins évolutifs devraient garder un certain niveau d'évolution dans leur composition. Cela a été confirmé à partir des résultats des cas d'étude, notamment dans l'étape de Découverte des DAM et des VNM lors desquels nous nous sommes aperçus du caractère évolutif des profils des PSH ayant besoin de ce type de PA. Les Sections 4.2.1.2 (en particulier la Figure 84) et 4.3.1.2 (en particulier le Tableau 58) présentent cette discussion. En effet, le PA issu de ce processus de conception intégrant l'évolution des exigences des utilisateurs est structuré à partir d'un spectre de modularité pour une large variété (modularité combinatoire vers la modularité arborescente dans la Figure 65). Cela permet l'adéquation du PA aux besoins des PSH au début de l'utilisation, et aussi l'évolution de ce produit par rapport aux changements de la valeur perçue (médicaux, activités souhaitées, etc.).

La dernière question de recherche concernait l'efficacité des processus internes des fabricants, spécialement dans le contexte du handicap, lorsqu'il existe une variété importante d'offre de PA. Les hypothèses étaient que les PA conçus et utilisés pour des fonctions similaires peuvent partager des éléments de leur composition et même que les PA peuvent partager des éléments avec des produits pour le grand public. Cela pourrait augmenter la performance organisationnelle pour les fabricants de ces produits. Dans ce contexte, le principe de la Standardisation de produit et de processus a joué un rôle très important (Section 3.3.3). Cela se vérifie notamment à partir de la tentative de réduction de la variété de pièces présente dans le processus de fabrication, soit par la réutilisation de composants issus de produits pour le grand public et de produits universels, soit par le partage de composants entre différents produits d'une même famille ou au moins d'une même plateforme.

En effet, l'application d'un tel principe se vérifie dans toutes les étapes du processus de conception. L'étape de Découverte (Section 3.4.1) est initiée avec la détermination de fonctions des PA (0) selon une logique de standardisation des PA (à travers la norme ISO 9999) et des spectres de besoins des PSH (à partir de la CIF). Cette plage de besoins est approfondie avec la caractérisation des utilisateurs (3.4.1.2) et l'analyse de produits connexes (3.4.1.3), permettant la définition d'une base sur laquelle différents PA peuvent être assemblés selon des modules qui ciblent plusieurs profils différents d'usagers. Lors des étapes de Définition (Section 3.4.2), en particulier dans l'activité de définition de l'architecture du produit (3.4.2.4), de Développement (Section 3.4.3), notamment dans les activités de détail des systèmes (3.4.3.1), d'implication des fournisseurs (3.4.3.2) et d'optimisation du produit (3.4.3.3) et dans l'étape de Distribution (Section 3.4.4), en particulier dans l'activité de création des processus de fabrication et assemblage (3.4.4.1), notre préoccupation était de rendre disponible une variété d'options aux PSH, de manière contrôlée.

Finalement, le travail réalisé a permis de donner quelques pistes, principes et méthodes sur la manière dont les concepteurs peuvent mener un processus de conception d'un PA. Les questions intermédiaires nous ont servis pour la construction du modèle de référence à la conception de PA pour les PSH, pour le tester et pour l'améliorer à partir de cas pratiques représentatifs des problèmes de mobilité personnelle.

5.2 LES LIMITATIONS DE LA RECHERCHE ET PROPOSITIONS POUR LA SUITE

Nous avons proposé un modèle de conception comportant des principes et une méthode qui part de l'identification de la situation pour laquelle nous concevons et qui va jusqu'aux préoccupations sur la fabrication et la livraison du produit aux utilisateurs. En revanche, quelques limitations présentes dans le travail doivent être reconnues.

Le travail réalisé dans l'environnement d'un laboratoire de recherche facilite le contrôle sur les expériences et la possibilité de vérifier une corrélation plus importante entre le travail prescrit par le mo-

dèle et celui vraiment exécuté par l'équipe de conception. Cependant, ces avantages apportent quelques inconvénients comme l'absence d'un contact direct avec des concepteurs impliqués dans les entreprises qui conçoivent et fabriquent des PA ciblés sur les cas d'étude. Les concepteurs des Dispositifs d'aide à la marche (DAM) et de Véhicules non-motorisés (VNM) ont été des élèves-ingénieurs avec une faible d'expérience de conception ou en lien avec le handicap. Enfin, les cas d'étude réalisés n'ont pas abouti à une fabrication d'un produit final permettant d'être utilisé par les PSH. Etant donné cette situation, la première recommandation pour un travail futur est l'application du modèle de conception dans un environnement d'entreprise qui conçoit et fabrique PA.

Autre limitation reconnue est la faible participation des PSH lors des activités de conception des PA. La participation des utilisateurs dans le processus de conception d'un produit peut être seulement de la consultation sur les besoins ou une participation aux tests avec les prototypes développés, ou aller jusqu'à la co-conception. La participation la plus efficace possible est réalisée lors d'interventions directes des PSH en tant que concepteurs des produits qu'ils vont utiliser. Ceci est aussi une recommandation pour les futurs travaux de recherche qui visent à faire avancer le développement du modèle de conception proposé : nous devons impliquer les utilisateurs tout au long de la conception. Nous pouvons penser qu'il s'agit d'une recommandation commune à tous les cas de conception de produits. Mais en fait, il s'agit d'une indication plus focalisée dans le cadre du handicap du fait du manque de compréhension des concepteurs des PSH.

Enfin, les cas d'étude réalisés ont été concentrés sur le contexte de la Mobilité Personnelle. Cela peut limiter l'exploitation des conclusions de ce travail vers d'autres domaines. Ainsi, la recommandation pour les recherches futures est l'application et l'adaptation de ce modèle de conception dans plusieurs autres contextes comme les orthèses et les prothèses, les produits pour la communication et l'information, ceux destinés au soin personnel, les PA permettant le développement d'activités d'éducation et l'emploi et d'autres contextes d'activités. Ainsi, du point de vue de l'accessibilité, une mentalité inclusive et des PA adaptées aux besoins évolutifs des PSH rendraient l'inclusion de tout possible. Après tout, celle-ci n'est pas une question de « politiquement correct », mais de justice, de dignité humaine, de reconnaissance de capacités et de richesse de convivialité.

REFERENCES

[1] H.-J. Stiker, "Aspects socio-historiques du handicap moteur," in *Déficiences motrices et Situations de Handicaps*, Paris: APF, pp. 38–47, 2002.

[2] ISO, *ISO 9999: Assistive products for persons with disability - Classification and terminology*, 5th ed. Bruxelles: ISO, 2011.

[3] Organisation Mondiale de la Santé, *La Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF)*, vol. 1. Genève, 2000.

[4] Organisation Mondiale de la Santé, "Rapport mondial sur le handicap," Genève, 2011.

[5] Organisation Mondiale de la Santé, "The Global Burden of Disease: 2004 update," Genève, 2008.

[6] O. Plos, "Méthodologie de conception de produits adaptée aux marchés de niche : application au marché du handicap moteur," Paris Institute of Technology, 2011.

[7] M. Delcey, "Notion de situation de handicap (moteur)," *Les Classif. Int. des Handicap. Déficinces Mot. situations du Handicap.*, pp. 1–17, 2002.

[8] J.-F. Ravaud, "Modèle individuel, modèle médical, modèle social : la question du sujet," *Handicap - Rev. Sci. Hum. Soc.*, vol. 81, pp. 64–75, 1999.

[9] I. Ville and J.-F. Ravaud, "Le handicap comme nouvel enjeu de santé publique," *Cah. Français*, vol. 324, pp. 21–26, 2005.

[10] R. F. Erlandson, *Universal and Accessible Design for Products, Services, and Processes*, vol. 8. Boca: Taylor & Francis Group, 2010.

[11] S. Z. Nagi, "A study in the evaluation of disability and rehabilitation potential: concepts, methods and procedures," *Am. J. Public Heal. …*, vol. 54, no. 9, pp. 1568–1579, 1964.

[12] C. Hamonet, *Les personnes en situation de handicap*, 8th ed. Paris: Puf, 2016.

[13] R. J. Simeonsson, D. Lollar, J. Hollowell, and M. Adams, "Revision of the International Classification of Impairments, Disabilities, and Handicaps: developmental issues.," *J. Clin. Epidemiol.*, vol. 53, no. 2, pp. 113–24, Feb. 2000.

[14] R. O. Teles and M. Santos, *Assistive Technology - Trainee Booklet*. Portugal, 2012.

[15] Y. F. Heerkens, T. Bougie, and M. W. de K. Vrankrijker, "Classification and terminology of assistive products," *International Encyclopedia of Rehabilitation*. JH Stone, M Blouin, pp. 1–10, 2010.

[16] GMDN Agency, "GMDN Database," *GMDN Database*, 2014. [Online]. Available: https://www.gmdnagency.org/Info.aspx?pageid=1091. [Accessed: 21-May-2014].

[17] A. R. Højen and R. Kuropatwa, *SNOMED CT Starter Guide*. Copenhagen: International Health Terminology Standards Development Organisation (IHTSDO), 2014.

[18] République Française, *Loi n. 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées*. Paris, France: Journal Officiel de la République Française de 12 février 2005, p. 53, 2005.

[19] Deloitte and Touche, "Access to Assistive Technology in the European Union," Boca, 2003.

[20] J. Stack, L. Zarate, C. Pastor, N.-E. Mathiassen, and H. Knops, "Analysing and federating the European assistive technology ICT industry," Bruxelles, 2009.

[21] B. Phillips and H. Zhao, "Predictors of assistive technology abandonment," *Assist. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 36–45, 1993.

[22] M. Riemer-Reiss and R. Wacker, "Factors associated with assistive technology discontinuance

among individuals with disabilities," *J. Rehabil.*, vol. 66, no. 3, pp. 44–50, 2000.

[23] S. Leclercq and A. Thevenon, "La préconisation des technologies d'assistance : de la solution palliative à l'action participative," in *Congrés Handicap*, pp. 160–166, 2014.

[24] M. Scherer, C. Sax, A. Vanbiervliet, L. Cushman, and J. Scherer, "Predictors of assistive technology use: the importance of personal and psychosocial factors.," *Disabil. Rehabil.*, vol. 27, no. 21, pp. 1321–31, Nov. 2005.

[25] H. Day, J. Jutai, W. Woolrich, and G. Strong, "The stability of impact of assistive devices," *Disabil. Rehabil.*, vol. 23, no. 9, pp. 400–404, 2001.

[26] J. Lagand, "Design et Fauteuils Roulants : quelle influence sur l'acceptation du handicap ?," 2011.

[27] G. Mukherjee and A. Samanta, "Wheelchair charity: a useless benevolence in community-based rehabilitation," *Disabil. Rehabil.*, vol. 27, no. 10, pp. 591–596, 2005.

[28] H. H. Lee and E. Chang, "Consumer Attitudes Toward Online Mass Customization: An Application of Extended Technology Acceptance Model," *J. Comput. Commun.*, vol. 16, no. 2, pp. 171–200, 2011.

[29] C. Bühler, H. Heck, Ø. Lorentsen, T. Øderud, R. N. Arnaiz, J. V. G. Alonso, M. Lobato, and S. Simon-Harry, "Coherence between and among Rehabilitation Technology Industrial Sectors – Overview," in *Forschungsinstitut Technologie-Behindertenhilfe*, 1994.

[30] C. Bühler and R. Barbera, "Assistive technology industry: A field for cooperation and networking," *Technol. Disabil.*, vol. 23, no. 3, pp. 115–130, 2011.

[31] M. Parker and S. Forsberg, "HEART Final Report on Service Delivery," no. July, pp. 1–30, 2012.

[32] O. Plos, M. Dupin, and C. Dumas, "Universal Design : proposition d'une nouvelle approche appliquée à la conception d'une table adaptative," in *Congrès SELF*, pp. 339–348, 2007.

[33] N. Vernardakis, C. Stephanidis, and D. Akoumianakis, "On the impediments to innovation in the European AT industry," *Int. J. Rehabil. Res.*, vol. 18, no. 3, pp. 225–243, 1995.

[34] N. Vernardakis, C. Stephanidis, and D. Akoumianakis, "On the determinants of Innovation in the European Rehabilitation (Assistive) Technology market," in *FORTH-ICS*, p. 16, 1993.

[35] D. Fels and S. Gedeon, "Understanding motivations of entrepreneurs in the assistive technology market," *Technol. Disabil.*, vol. 23, pp. 53–64, 2011.

[36] Jean Dubois, *Le Lexis - le dictionnaire érudit de la langue française*. Paris: Larousse, 2014.

[37] V. Krishnan and K. Ulrich, "Product Development Decisions: A Review of the Literature," *Manage. Sci.*, vol. 47, no. 1, pp. 1–21, 2001.

[38] S. Brown and K. Eisenhardt, "Product Development: past research, present findings and future directions," *Acad. Manag. Rev.*, vol. 20, no. 2, p. 36, 1995.

[39] H. Rozenfeld, F. A. Forcellini, D. C. Amaral, J. C. Toledo, S. L. da Silva, D. H. Alliprandini, and R. K. Scalice, *Gestão do Desenvolvimento de Produtos: uma referencia para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.

[40] A. Albers and M. Meboldt, "IPEMM - Integrated Product Development Process Management Model, Based on Systems Engineering and Systematic Problem Solving," in *International Conference on Engineering Design, ICED'07*, no. August, pp. 1–9, 2007.

[41] D. Reiney, *Product Innovation : Leading change through integrated Product Development*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

[42] C. Schätz, "A Methodology for Production Development," Norwegian University of Science and Technology, 2006.

[43] H. Rozenfeld, F. A. Forcellini, J. C. de Toledo, D. C. Amaral, E. P. Mosconi, and D. H. Alliprandini, "Development of a reference model for integrating product development process-related knowledge," in *International Congress of Mechanical Engineering*, pp. 1–8, 2003.

[44] Y. H. Choi, K. Kim, and C. Kim, "A design chain collaboration framework using reference models," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 26, no. 1–2, pp. 183–190, 2005.

[45] D. Wynn and J. Clarkson, "Models of designing," in *Design process improvement : a review of current practice*, J. Clarkson and C. Eckert, Eds. London: Springer, pp. 34–59, 2005.

[46] K. Gericke and L. Blessing, "Comparisons of design methodologies and process models across domains: a literature review," in *ICED11*, pp. 1–12, 2011.

[47] S. Finger and J. R. Dixon, "A review of research in mechanical engineering design. Part I: Descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes," *Res. Eng. Des.*, vol. 1, no. 1, pp. 51–67, 1989.

[48] L. T. M. Blessing, *Comparison of design models proposed in prescriptive literature*, no. February 1995. 1995.

[49] L. Archer, *Systematic method for designers*. London: The Design Council, 1965.

[50] T. Browning, "Applying the design structure matrix to system decomposition and inintegration problems: a review and new directions," in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 48, no. 3, pp. 292–306, 2001.

[51] Y. M. Choi, "The impact of input during the design of an assistive technology product," Georgia Institute of Technology, 2010.

[52] B. Eisenbart, K. Gericke, and L. Blessing, "A Framework for Comparing Design Modelling Approaches Across Disciplines," in *International Conference on Engineering Design (ICED)*, pp. 1–12, 2011.

[53] K. Gericke and L. Blessing, "An analysis of design process models across disciplines," *Proc. 12th Int. Des. Conf. Des. 2012*, pp. 171–180, 2012.

[54] S. Möhringer, "A standardising approach to describe and to compare design models for mechatronics," *Int. Des. Conf.*, pp. 415–420, 2004.

[55] A. Sharafi, T. Wolfenstetter, P. Wolf, and H. Krcmar, "Comparing product development models to identify process coverage and current gaps: A literature review," in *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 1732–1736, 2010.

[56] T. J. Howard, S. J. Culley, and E. Dekoninck, "Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature," *Des. Stud.*, vol. 29, no. 2, pp. 160–180, 2008.

[57] J. a. Barton, D. M. Love, and G. D. Taylor, "Design determines 70% of cost? A review of implications for design evaluation," *J. Eng. Des.*, vol. 12, no. 1, pp. 47–58, 2001.

[58] J. Herrmann, "Design for production: Concepts and applications," in *Proceedings of the SME East Coast Region 3*, pp. 1–9, 2003.

[59] D. Mourtzis and M. Doukas, "The evolution of manufacturing systems: from crafsmanship to the era of customisation," in *Handbook of Research on Design and Management of Lean Production Systems*, V. Modrák and P. Semančo, Eds. IGI Global, pp. 1–29, 2014.

[60] Y. Koren, *The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*. New Jersey: Wiley, 2010.

[61] S. J. Hu, "Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization," in *CIRP*, vol. 7, pp. 3–8, 2013.

[62] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, *The Machine That Changed the World*. New York, New York, USA: Rawson Associates, 1990.

[63] M. Holweg, "The genealogy of lean production," *J. Oper. Manag.*, vol. 25, p. 18, 2007.

[64] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Free Press, 1996.

[65] A. Nambiar, "Modern manufacturing paradigms – A comparison," in *Proceedings of the interna-*

tional multiconference of engineers and computer scientists, vol. III, p. 6, 2010.

[66] K. Radeka and T. Sutton, "What is 'lean' about product development?," *PDMA Visions*, vol. Vol. XXXI, pp. 11–15, 2007.

[67] G. Ballard, "Road Map for Lean Implementation at the Project Level," Austin, 2007.

[68] M. Ballé, "Lean ingénierie : Appliquer l'approche lean en conception et développement produit," *Management & Finance*, pp. 75–77, 2012.

[69] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill Education, 2004.

[70] S. Shingo, *A study of the Toyota production system from an industrial point of view*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1989.

[71] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, English tr. Portland: Productivity Press, 1988.

[72] J. Morgan and J. Liker, *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process And Technology*, 1st ed. New York: Productivity Press, 2006.

[73] Toyota Motors Compagnie, "Toyota Production System," 2016. [Online]. Available: http://www.toyota.com.au/toyota/company/operations/toyota-production-system. [Accessed: 18-Jul-2016].

[74] H. León and J. Farris, "Lean Product Development Research: Current State and Future Directions.," *Eng. Manag. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 29–52, 2011.

[75] M. Gudem, M. Steinert, and T. Welo, "From Lean Product Development To Lean Innovation: Searching for a More Valid Approach for Promoting Utilitarian and Emotional Value," *Int. J. Innov. Technol. Manag.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–10, Apr. 2014.

[76] J. Hoppmann, E. Rebentisch, U. Dombrowski, and T. Zahn, "A Framework for Organizing Lean Product Development.," *Eng. Manag. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 3–16, 2011.

[77] T. Baines, H. Lightfoot, G. M. Williams, and R. Greenough, "State-of-the-art in lean design engineering: a literature review on white collar lean," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 220, no. 9, pp. 1539–1547, Jan. 2006.

[78] C. Karlsson and P. Åhlström, "The difficult path to lean product development," *J. Prod. Innov. …*, vol. 6782, no. 96, pp. 283–295, 1996.

[79] A. Ward, *Lean Product and Process Development*. Cambridge: Lean Enterprise Institute, Inc., 2007.

[80] T. Browning, "Value-based product development: refocusing lean," *Proc. IEEE*, pp. 168–172, 2000.

[81] T. Browning, "On customer value and improvement in product development processes," *Syst. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 49–61, Jan. 2003.

[82] B. Haque and M. James-Moore, *Applying Lean Thinking to New Product Introduction*, vol. 15, no. 1. 2004.

[83] M. Gudem, M. Steinert, T. Welo, and L. Leifer, "Redefining customer value in lean product development design projects," *J. Eng. Des. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 71–89, 2013.

[84] D. A. Norman, *Design émotionnel : pourquoi aimons-nous (ou détestons-nous) les objets qui nous entourent ?*, 1ère. Bruxelles: De Boeck, 2012.

[85] J. Redström, "Towards user design? On the shift from object to user as the subject of design," *Des. Stud.*, vol. 27, no. 2, pp. 123–139, 2006.

[86] U. Dombrowski and T. Zahn, "Design of a lean development framework," *Ind. Eng. …*, pp. 1917–1921, 2011.

[87] L. Keeley, H. Walters, R. Pikkel, and B. Quinn, *Ten Types of Innovation: The Discipline of Building Breakthroughs*, 1st ed. Hoboken: Deloitte Development LLC, 2013.

[88] R. Verganti, "Design, Meanings, and Radical Innovation: A Metamodel and a Research Agen-

da," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 25, no. 5, pp. 436–456, Sep. 2008.

[89] K. Errabi, "« Demand-Pull » ou « Technology-Push » : Survey de la littérature récente et nouveaux tests économétriques," Université Lumière (Lyon 2), 2009.

[90] S. Martelo-Landroguez, C. Barroso-Castro, and G. Cepeda, "The cycle of customer value: a model integrating customer and firm perspectives," *J. Bus. Econ. Manag.*, vol. 16, no. 2, pp. 467–481, 2015.

[91] P. W. Jordan, "Human factors for pleasure in product use," *Appl. Ergon.*, vol. 29, no. 1, pp. 25–33, Feb. 1998.

[92] M. Winance, "Mobilités en fauteuil roulant : processus d'ajustement corporel et d'arrangements pratiques avec l'espace, physique et social," *Politix*, vol. 90, no. 2, pp. 115–137, 2010.

[93] J. Hoppmann, "The Lean Innovation Roadmap – A Systematic Approach to Introducing Lean in Product Development Processes and Establishing a Learning Organization," Technical University of Braunschweig, 2009.

[94] J. Bernstein, "Design Methods in the Aerospace Industry: Looking for Evidence of Set-Based Practices," MIT, 1998.

[95] D. Ford and D. Sobek, "Adapting real options to new product development by modeling the second Toyota paradox," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 52, no. 2, pp. 175–185, 2005.

[96] G. Ballard, "Positive vs. Negative Iteration in Design," in *Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 1–8, 2000.

[97] J. Liker and D. Sobek, "Involving suppliers in product development in the United States and Japan: evidence for set-based concurrent engineering," *Trans. Eng. Manag.*, vol. 43, no. 2, p. 14, 1996.

[98] N. Bhuiyan and V. Thomson, "Determining the Value of Sequential and Concurrent NPD Processes," *Concurr. Eng.*, vol. 16, no. 3, pp. 201–211, Sep. 2008.

[99] D. Sobek, A. Ward, and J. Liker, "Toyota's principles of set-based concurrent engineering," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 40, no. 2, p. 17, 1999.

[100] D. Sobek and A. Ward, "Principles from toyota's set-based concurrent engineering process," in *Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference*, pp. 1–9, 1996.

[101] A. Ward, J. Liker, J. Cristiano, and D. Sobek, "The second Toyota paradox: how delaying decisions can make better cars faster," *Sloan Manag.*, vol. 36, no. 3, pp. 43–61, 1995.

[102] F. Ballé and M. Ballé, "Lean Development," *Bus. Strateg. Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 17–22, 2005.

[103] L. Garza, "Integrating lean principles in automotive product development: breaking down barriers in culture and process," 2005.

[104] D. K. Sobek, J. K. Liker, and A. C. Ward, "Another look at how Toyota integrates product development," *Harv. Bus. Rev.*, vol. 76, no. July, pp. 36–49, 1998.

[105] F. Ballé and M. Ballé, "Lean Development: A knowledge System." pp. 1–31, 2005.

[106] S. Davis, "From 'future perfect': Mass customizing," *Strateg. Leadersh.*, vol. 17, no. 2, pp. 16–21, 1989.

[107] R. Duray, P. P. T. Ward, G. W. G. Milligan, and W. W. L. Berry, "Approaches to mass customization: configurations and empirical validation," *J. Oper. Manag.*, vol. 18, no. 6, pp. 1–2, 2000.

[108] S. Kotha, "From Mass Production to Mass Customization: The Case of the National Industrial Bicycle Company of Japan," *Eur. Manag. J.*, vol. 14, no. 5, pp. 442–450, 1996.

[109] A. Joneja and N. Lee, "Automated Configuration of Parametric Feeding Tools for Mass Customization," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 35, no. 3–4, pp. 463–466, 1998.

[110] A. Ross, "Selling uniqueness," *Manuf. Eng.*, vol. 75, no. December, p. 260, 1996.

[111] M. J. Kay, "Making mass customization happen: Lessons for implementation," *Plan. Rev.*, vol.

21, no. 4, pp. 14–18, 1993.

[112] S. Khotha, "Mass customization: implementing the emerging paradigm for competitive advantage," *Strateg. Manag. J.*, vol. 16, no. Special, pp. 21–42, 1995.

[113] G. Da Silveira, D. Borenstein, and F. Fogliatto, "Mass customization: Literature review and research directions," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 72, no. 49, pp. 1–13, 2001.

[114] F. T. Piller, "Mass Customization - Reflections on the State of the Concept," *Int. J. Flex. Manuf. Syst.*, pp. 313–334, 2005.

[115] F. Fogliatto, G. Silveira, and D. Borenstein, "The mass customization decade: An updated review of the literature," *International Journal of Production Economics*, vol. 138, no. 1. Elsevier, pp. 14–25, 2012.

[116] P. Zipkin, "The Limits of Mass Customization," *MIT Sloan Manag. Rev.*, vol. 42, no. 3, pp. 1–7, 2001.

[117] F. Salvador, P. M. Holan, and F. Piller, "Cracking the Code of Mass Customization," *MIT Sloan Manag. Rev.*, vol. 50, no. 3, pp. 70–78, 2009.

[118] P. Kotler, "From mass marketing to mass customization," *Plan. Rev.*, vol. 17, no. 5, pp. 10–47, 1989.

[119] J. M. Tien, "Data Mining Requirements for Customized Goods and Services," *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, vol. 5, no. 4, pp. 683–698, 2006.

[120] J. Pine, "Mass customizing products and services," *Strateg. Leadersh.*, vol. 21, pp. 6–55, 1993.

[121] J. S. Spira, "Mass customization through training at Lutron Electronics," *Strateg. Leadersh.*, vol. 21, pp. 23–24, 1993.

[122] J. H. Gilmore and B. J. Pine II, "The four faces of customization," *Harv. Bus. Rev.*, vol. Jan-Feb, no. January, pp. 91–101, 1997.

[123] J. Lampel and H. Mintzberg, "Customizing Customization," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 38, no. 1, pp. 21–30, 1996.

[124] J. D. Frutos and D. Borenstein, "A framework to support customer–company interaction in mass customization environments," *Comput. Ind.*, vol. 54, no. 2, pp. 115–135, 2004.

[125] M. Carulli, M. Bordegoni, and U. Cugini, "An approach for capturing the Voice of the Customer based on Virtual Prototyping," *J. Intell. Manuf.*, vol. 24, no. 5, pp. 887–903, 2013.

[126] T. BROEKHUIZEN and K. ALSEM, "Success Factors for Mass Customization: A Conceptual Model," *J. Mark. Manag.*, vol. 5, no. 4, pp. 309–330, 2004.

[127] F. Piller, P. Schubert, M. Koch, and K. M. Möslein, "Overcoming Mass Confusion: Collaborative Customer Co-Design in Online Communities," *J. Comput. Commun.*, vol. 10, no. 4, p. article 8, 2005.

[128] N. Franke and F. Piller, "Value creation by toolkits for user innovation and design: The case of the watch market," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 21, no. 6, pp. 401–415, 2004.

[129] H. ElMaraghy, G. Schuh, W. Elmaraghy, F. Piller, P. Schönsleben, M. Tseng, and A. Bernard, "Product variety management," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 62, pp. 629–652, 2013.

[130] B. Schwartz, "The Paradox of Choice," *Notes*, vol. 78, pp. 258–261, 2007.

[131] T. Novak, D. Hoffman, and Y. Yung, "Measuring the customer experience in online environments: A structural modeling approach," *Mark. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 22–44, 2000.

[132] M. Holbrook, "Consumption experience , customer value , and subjective personal introspection : An illustrative photographic essay," *J. Bus. Res.*, vol. 59, pp. 714–725, 2006.

[133] M. Holbrook, *Consumer Value: A framework for analysis and research*, vol. 53. 1999.

[134] R. Sánchez-Fernández and M. Á. Iniesta-Bonillo, "The concept of perceived value: a systematic review of the research," *Mark. Theory*, vol. 7, no. 4, pp. 427–451, 2007.

[135] H.-C. Chiu, Y.-C. Hsieh, Y.-C. Li, and M. Lee, "Relationship marketing and consumer switching behavior," *J. Bus. Res.*, vol. 58, no. 12, pp. 1681–1689, 2005.

[136] A. Merle, J. L. Chandon, E. Roux, and F. Alizon, "Perceived value of the mass-customized product and mass customization experience for individual consumers," *Prod. Oper. Manag.*, vol. 19, no. 5, pp. 503–514, 2010.

[137] K. Ulrich and S. D. Eppinger, *Product design and development*, 5th ed. New York, New York, USA: McGraw-Hill, 2011.

[138] F. Salvador, C. Forza, and M. Rungtusanatham, "How to mass customize: Product architectures, sourcing configurations," *Bus. Horiz.*, vol. 45, no. 4, pp. 61–69, 2002.

[139] A. Warell, "Design Syntactics: A Functional Approach to Visual Product Form Theory, Models, and Methods," Chalmers University of Technology, 2001.

[140] S. Xia and L. Wang, "Customer requirements mapping method based on association rule mining for mass customization," *J. Shanghai Jiaotong Univ.*, vol. 13, no. 3, pp. 291–296, 2008.

[141] T. U. Pimmler and S. D. Eppinger, "Integration analysis of product decompositions," in *ASME Design Theory and Methodology Conference*, no. September, pp. 1–10, 1994.

[142] K. Ulrich, "The role of product architecture in the manufacturing firm," *Res. Policy*, vol. 24, no. 3, pp. 419–440, May 1995.

[143] B. Agard and M. Tollenaere, "Conception d'assemblages pour la customisation de masse," *Mécanique Ind.*, vol. 3, pp. 113–119, 2002.

[144] E. Feitzinger and H. L. Lee, "Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement," *Harv. Bus. Rev.*, vol. 75, pp. 116–121, 1997.

[145] F. Salvador, C. Forza, and M. Rungtusanatham, "Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions," *J. Oper. Manag.*, vol. 20, pp. 549–575, 2002.

[146] G. Pahl and W. Beitz, "Developing size ranges and modular products," in *Engineering Design*, K. Wallace, Ed. London: The Design Council, pp. 315–361, 1984.

[147] K. Ulrich and K. Tung, "Fundamentals of product modularity," in *ASME Winter Annual Meeting Symposium on Design and Manufacturing Integration*, pp. 73–79, 1991.

[148] M. Hersh, "The design and evaluation of Assistive Technology products and sevices Part 1: Design," *International Encyclopedia of Rehabilitation*. JH Stone, M Blouin, pp. 1–35, 2010.

[149] P. J. Keates, S. Clarkson, "Countering Design Exclusion," in *Inclusive Design : Design for the Whole Population*, P. J. Clarkson, R. Coleman, S. Keates, and C. Lebbon, Eds. London: Springer-Verlag London, pp. 438–453, 2003.

[150] M. Story, J. Mueller, and R. Mace, *The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities*, 1st ed. Raleigh: NC State University, 1998.

[151] L. De Couvreur and R. Goossens, "Design for (every) one : co-creation as a bridge between universal design and rehabilitation engineering," *CoDesign*, vol. 7, no. 2, pp. 107–121, 2011.

[152] CONSEIL DE L'EUROPE, *Résolution ResAP(2001)1 sur l'introduction des principes de conception universelle dans les programmes de formation de l'ensemble des professions travaillant dans le domaine de l'environnement bâti*. France: Comité des Ministres, p. 29, 2001.

[153] ISO, *ISO 9241-210:2010 - Ergonomie de l'interaction homme-système - Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*. Genève: ISO, 2011.

[154] J. Pirkl, "Transgenerational Design: A Design Strategy Whose Time Has Arrived," *Design Management Journal*, vol. 2. pp. 55–60, 1991.

[155] J. Woudhuysen, "A call for transgenerational design," *Appl. Ergon.*, vol. 24, no. 1, pp. 44–46, 1993.

[156] The Center for Universal Design, "The Principles of Universal Design (Version 2.0)." NC State

University, Raleigh, 1997.

[157] W. F. E. Preiser and K. H. Smith, *Universal Design Handbook*. New York, New York, USA: McGraw-Hill Education, 2011.

[158] S. Keates and P. J. Clarkson, *Countering Design Exclusion: An Introduction to inclusive design*. London: Springer London, 2004.

[159] M. Winance, "Universal design and the challenge of diversity: reflections on the principles of UD, based on empirical research of people's mobility," *Disabil. Rehabil.*, vol. 36, no. 16, pp. 1334–43, 2014.

[160] A. Heylighen and G. Nijs, "Designing in the absence of sight: Design cognition re-articulated," *Des. Stud.*, vol. 35, no. 2, pp. 113–132, 2014.

[161] A. Heylighen, "Challenging prevailing ways of understanding and designing space," *Spat. Cogn. Archit. Des. SCAD 2011 Symp. Proc.*, no. January 2012, pp. 23–40, 2012.

[162] E. Roy, "When we design for disability, we all benefit," *TEDxMidAtlantic*, United States, 2015.

[163] CENTER FOR UNIVERSAL DESIGN, "DEFINITIONS: Accessible, Adaptable, and Universal Design," 2006.

[164] C. J. Robinson, "Rehabilitation Engineering, Science, and Technology," in *Biomedical Engineering Handbook 2*, 2ème., J. D. Bronzino, Ed. New York: CRC Press LLC, p. 119 (1-9), 2000.

[165] M. A. Hersh and M. A. Johnson, "On modelling assistive technology systems-Part I: Modelling framework," *Technol. Disabil.*, vol. 20, pp. 193–215, 2008.

[166] D. a. McAdams and V. Kostovich, "A framework and representation for universal product design," *Int. J. Des.*, vol. 5, no. 1, pp. 29–42, 2011.

[167] J. Reswick, "What is rehabilitation engineering?," *Annu. Rev. Rehabil.*, vol. 2, 1982.

[168] J. O. Wobbrock, S. K. Kane, K. Z. Gajos, S. Harada, and J. Froehlich, "Ability-based design: Concept, principles and examples," *ACM Trans. Access. Comput.*, vol. 1, no. 212, pp. 1–36, 2011.

[169] G. V Kondraske, "Rehabilitation engineering: towards a systematic process.," *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 7, no. 3, pp. 11–5, 1988.

[170] A. Szeto, "Rehabilitation engineering and assistive technology," in *Introduction to Biomedical Engineering*, J. Enderle, S. M. Blanchard, and J. Bronzino, Eds. 2005, pp. 211–254, 2005.

[171] A. M. Cook and J. M. Polgar, "Principles of Assistive Technology," in *Assistive Technologies*, pp. 1–15, 2015.

[172] M. Gois, G. Thomann, and F. Villeneune, "Assistive products development: a framework to respond to the value requirements from users and manufacturers points of view," in *26th CIRP Design Conference*, pp. 1–6, 2016.

[173] J. Clarkson, R. Coleman, S. Keates, and C. Lebbon, "From margins to mainstream," in *Inclusive Design : Design for the Whole Population*, P. J. Clarkson, R. Coleman, S. Keates, and C. Lebbon, Eds. London: Springer-Verlag London, 2003.

[174] D. Loudon and A. Macdonald, "Virtual design verification for inclusive design through software," in *Proceedings of Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology (CWUAAT'04)*, pp. 191–195, 2004.

[175] H. Dong, S. Keates, and P. Clarkson, "Developing and evaluating a booklet for inclusive design," in *Proceedings of Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology (CWUAAT'04)*, pp. 177–182, 2004.

[176] R. Dawkins, "The tyranny of the discontinuous mind," *New Statesman*, no. December, pp. 1–7, 2011.

[177] C. Magnier, G. Thomann, F. Villeneuve, and P. Zwolinski, "Methods for designing assistive devices extracted from 16 case studies in the literature," *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 6, no. 2, pp. 93–100, Jan. 2012.

[178] O. Plos, S. Buisine, A. Aoussat, F. Mantelet, and C. Dumas, "A Universalist strategy for the design of Assistive Technology," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 42, no. 6, pp. 533–541, Nov. 2012.

[179] J. Veytizou, "Caractérisation des spécificités motrices d'utilisateurs en situation de handicap Application à la conception de systèmes personnalisables pour la pratique musicale.," Université de Grenoble Alpes, 2014.

[180] T. Smith-Jackson, M. Nussbaum, and A. Mooney, "Accessible cell phone design: development and application of a needs analysis framework.," *Disabil. Rehabil.*, vol. 25, no. 10, pp. 549–60, May 2003.

[181] F. Alvarenga, "Uma abordagem metodológica para o projeto de produtos inclusivos," Universidade Estadual de Campinas, 2006.

[182] J. A. Aguilar-Zambrano, M. V. Valencia, M. F. Martínez, C. A. Quiceno, and C. M. Sandoval, "Uso de la Teoría de Solución de Problemas Inventivos (TRIZ) en el análisis de productos de apoyo a la movilidad para detectar oportunidades de innovación," *Rev. Ing. y Compet.*, vol. 14, no. 1, pp. 137–151, 2012.

[183] M. R. Goldberg and J. L. Pearlman, "Best practices for team-based assistive technology design courses," in *Annals of biomedical engineering*, vol. 41, no. 9, pp. 1880–8, 2013.

[184] T. Bougie and Y. Heerkens, "ISO 9999 with ICF – References," 2009.

[185] T. Bougie and Y. F. Heerkens, "Building bridges between diseases, disabilities and assistive devices: linking the GBD , ICF and ISO 9999," Geneva, 2010.

[186] Nations Unies, "Convention relative aux droits des personnes handicapées et Protocole facultatif," Genève, 2006.

[187] aux personnes handicapées et à la famille Le ministre délégué à la sécurité sociale, aux personnes âgées and L. ministre de la santé et des Solidarités, "Arrêté du 9 janvier 2006 fixant la liste des dispositifs médicaux que les masseurs-kinésithérapeutes sont autorisés à prescrire," Paris, 2006.

[188] H. Bateni and B. E. Maki, "Assistive devices for balance and mobility: Benefits, demands, and adverse consequences," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 86, no. 1, pp. 134–145, 2005.

[189] A. Tukker, "Eight types of product–service system: eight ways to sustainability? Experiences from suspronet," *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 260, pp. 246–260, 2004.

[190] C. Marchiori, D. Bensmail, D. Gagnon, and D. Pradon, "Manual wheelchair satisfaction among long-term users and caregivers: A French study.," *J. Rehabil. Res. Dev.*, vol. 52, no. 2, pp. 181–92, 2015.

[191] Organisation Mondiale de la Santé, *Guide pour les services de fauteils roulants manuels dans les régions à faibles revenus*. Genève: Organisation Mondiale de la Santé, 2008.

[192] V. Lemay, "Etude des déterminants de la mobilité en fauteuil roulant manuel et leur association avec la participation sociale d'usagers expérimentés ayant une lésion de la moelle épinière," Université Laval, 2011.

[193] R. Vertebral, "Constitution de la colonne vertébrale," 2016. [Online]. Available: http://spindynamic.fr/colonne-vertebraleconstitution-de-la-colonne-vertebrale/constitution-de-la-colonne-vertebrale/. [Accessed: 29-Mar-2016].

[194] Shepherd Center, *Understanding Spinal Cord Injury*, 1st ed. Atlanta: Shepherd Center, 2011.

[195] American Spinal Injury Association (ASIA), "International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury," *asia-spinalinjury*, 2015. [Online]. Available: http://www.asia-spinalinjury.org/elearning/ASIA_ISCOS_high.pdf. [Accessed: 29-Mar-2016].

[196] S. Sheldon and N. A. Jacobs, "Report of a Consensus Conference on Wheelchairs for Developing Countries," Bengaluru, 2006.

[197] N. Vignier, J. F. Ravaud, M. Winance, F. X. Lepoutre, and I. Ville, "Demographics of wheelchair users in France: Results of national community-based handicaps-incapacités-dépendance sur-

veys," *J. Rehabil. Med.*, vol. 40, no. 3, pp. 231–239, 2008.

[198] Insee, "Les enquêtes Handicaps-Incapacités-Dépendances de 1998 et 1999," Paris, 2003.

[199] UNIVELO, "Marché du cycles 2013: Le marché du vélo sur une bonne dynamique," Paris, 2014.

[200] European Commission, *Access City award 2014*. Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne, 2014.

[201] V. de Grenoble, "Rapport 2014 - 2015 de la Commission Communale d'Accessibilité de la Ville de Grenoble," Grenoble, 2015.

RESUME

L'impact de ce travail de doctorat se concentre sur l'inclusion sociale des Personnes en Situation de Handicap (PSH). Cette inclusion dépend de plusieurs d'initiatives comme l'Accessibilité des espaces et des informations mais aussi de l'offre de Produits d'Assistance (PA) qui peuvent soulager voire compenser les situations de handicap. Notre travail se place sur ce second terrain, en particulier sur les insatisfactions et abandons des PA par les PSH et la difficulté des fabricants à offrir une variété de produits ciblés sur besoins et avec des prix abordables. Nous pensons que la solution à une telle problématique peut être faite dès la conception des PA. Ainsi, nous proposons un modèle de référence pour l'organisation du processus de conception de ces produits autour d'une philosophie et d'une méthodologie de conception. Ce modèle a été construit à partir de recherches bibliographiques sur les processus de conception de produits de manière générale, telles que la conception lean et la customisation de masse, et aussi quelques approches et modèles de conception de produits qui intègrent les PSH dans le public de consommateurs. Suite à son développement, la proposition a été testée et améliorée à partir de deux cas d'étude réalisés dans le cadre de la Mobilité Personnelle. Le premier cas d'étude se concentre sur la conception de Dispositifs d'Aide à la Marche (DAM), tels que les cannes, les béquilles et les cadres de marche. Ensuite, la deuxième expérience est focalisée sur la conception de Véhicules non-motorisés (VNM), comme les cycles et les fauteuils roulants. Le résultat de ces expérimentations et les révisions du modèle de référence pour la conception de PA nous ont permis d'aboutir à une configuration des principes et à une méthodologie qui accordent les attentes tangibles et intangibles des PSH à travers la conception et l'offre de produits personnalisables tout en respectant les exigences des systèmes de fabrication et distribution.

Mots-clefs : modèle de conception de produits, conception lean, customisation de masse, handicap, inclusion, produit d'assistance.

ABSTRACT

The impact of this PhD work focuses on the social inclusion of Persons with Disabilities (PWD). This inclusion depends on several initiatives such as spacial and informational accessibility, and the offer of Assistive Products (AP), which can alleviate or compensate disability situations. Our work focuses on this second point, particularly under the dissatisfaction and abandonment of AP by the PWD and the inability of the manufacturers to offer a variety of products that respond to the users' needs with affordable prices. We believe that the solution to this problem can be found in the AP design process. Thus, we propose a reference model for the a AT design process organization around a philosophy and a design methodology. This model was constructed from bibliographic research on product design processes in general, such as lean design and mass customization, as well as some product design approaches and models that integrate the PWD as customers. After this, the proposal was tested and improved through two case studies carried out in the Personal Mobility context. The first case study focuses on the design of Walking Aid Devices (WADs), such as walking sticks, crutches and walking frames. Second, the second one focuses on the design of non-motorized vehicles (NMVs), such as cycles and wheelchairs. The result of these experiments and the revisions of the reference model for AP design enabled us deliver a configuration of principles and a methodology of design that matches the tangible and intangible expectations of the PWD through the conception and offering of customized products that respond to the requirements of manufacturing and distribution systems.

Keywords: framework for design process, lean design, mass customization, disability, inclusion, assistive product.

ANNEXES

ANNEXE 1 - LISTE DE VERIFICATION POUR L'ANALYSE DES PA

1. Sur la conception du produit, il est possible de dire :

a) il a été conçu pour un groupe de personnes faisant partie du public handicapé
b) il a été conçu pour une personne faisant partie du public handicapé (solution unique et spécialisée)
c) il est une adaptation d'un produit générique (rendu utilisable au public handicapé)
d) il s'agit d'un produit universel
e) Il n'est pas possible de vérifier

2. Qui est le responsable pour la décision d'acheter ou d'acquérir le produit ?

a) la personne en situation de handicap / utilisateur
b) un produit final livré ou prescrit par un service de santé
c) la famille de la personne en situation de handicap
d) une décision conjointe de la personne, la famille et le service de santé
e) Il n'est pas possible de vérifier cette information

3. Niveau de complexité du produit

3.1 En considérant la complexité comme une variable liée à la quantité de parties du produit en question.

a) Petite complexité (entre 1 et 10)
b) Moyenne complexité (entre 11 et 100)
c) Grande complexité (plus que 100)

3.2 En considérant la technologie du produit :

a) Produit manuel
b) Produit mécanique
c) Produit électronique
d) Produit électronique avec interface mécanique
e) Produit électronique avec interface tactile, sonore ou visuel
f) Produit électronique avec interface informatique (ordinateur, internet ou applications portable)
g) Il n'est pas possible de vérifier cette information
h) NA

4. Quel est le niveau de personnalisation ou customisation possible pour le produit ? [113]

a) Produit standard, aucune personnalisation possible
b) Adaptation pendant l'usage par l'utilisateur (après livraison)
c) Emballages de produits standardisés en fonction d'une commande particulière
d) Services additionnels dans les points de vente réalisés de façon rapide pour répondre aux besoins du client
e) Travail de customisation additionnelle du produit réalisé dans les points de vente
f) Arrangement modulaire des composants selon les configurations voulues par le client
g) Fabrication personnalisée de produits en suivant des designs prédéfinis
h) Projet collaboratif pour la fabrication et la livraison du produit selon les préférences d'un consommateur individuel

5. Quels types de personnalisation et/ou de customisation sont prévus pour ce produit ?

a) Ajustement de taille
b) Esthétique
c) Interface pour les informations
d) Interface pour le contrôle du produit
e) Changements d'aspects techniques du produit pour l'amélioration de performance (non liés aux ajustements de taillé et d'interface)
f) Adaptation du produit pour l'évolution de l'état de l'utilisateur (fonctionnement, handicap et santé)
g) Aucune personnalisation n'est prévue

6. Quel est la stratégie de production (la plus proche) pour la mise en place du produit sur le marché ?

a) Make to stock (MTS)
b) Assembly to order (ATO)
c) Make to order (MTO)
d) Project to order (PTO) / Engineering to order (ETO)
e) Système hybride
f) Il n'est pas possible de vérifier cette information

7. Quel est le type d'architecture du produit ? [39]

a) Intégrale
b) Modulaire

8. Ce produit fait partie d'une famille ? [145]

a) Oui, parce qu'il s'agit d'un ensemble de différents produits offerts par une entreprise
b) Oui, parce qu'il s'agit d'un groupe de produits qui se recoupent en partie dans leurs demandes et possèdent des similarités fonctionnelles sous-jacentes
c) Oui, parce qu'il s'agit de produits qui partagent un design et un processus d'assemblage commun
d) Non, aucun des facteurs ci-dessus peuvent-être trouvés dans ce produit

9. (Si modulaire) Est-ce qu'il est possible de décomposer le produit dans une liste hiérarchique (nomenclature : produit, système, sous-système, composants) - bills of materials

(Si modulaire) Classifier les modules détaillés selon les aspects :

10. La stabilité de la fonction attribuée au composant

a) Les modules de base et auxiliaires mettent en œuvre des fonctions communes à l'ensemble de la famille de produits
b) Des modules spéciaux mettent en œuvre des fonctions complémentaires et spécifiques à la tâche qui n'ont pas besoin d'apparaître dans toutes les variantes de produits
c) Des modules d'adaptation mettent en œuvre des fonctions liées à l'adaptation à d'autres systèmes et à des conditions marginales

11. Comment la configuration du produit final est-elle faite ?

a) Modularité à partir de la permutation de composants : les variantes du produit sont obtenues en échangeant un ou plusieurs composants sur le corps du produit commun (*Component swapping modularity*)
b) Modularité par la fabrication sur mesure : les variantes du produit sont obtenues à travers la modification continue de la valeur d'une variable à l'intérieur d'un composant (*Fabricate-to-fit modularity*)

c) Bus modulaire : les variantes du produit sont obtenues en assemblant des composants (venant d'un ensemble type de composants) avec un composant disposant de deux interfaces (ou plus) (*Bus modularity*)
d) Modularité sectionnelle : les variantes du produit sont obtenues en mélangeant et en assemblant de façon arbitraire un ensemble de composants, en respectant les connections entre les interfaces (*Sectional modularity*)
e) Modularité combinatoire : nous pouvons vérifier que le produit n'a de corps de base fixe et que tous les systèmes sont des modules échangeables qui disposent de stabilité de fonction et d'interfaces de type "slot"

12. Nature des interfaces entre les composants

a) Modularité des interfaces : les interfaces entre les différents composants sont différentes (*Slot modularity*)
b) Modularité sectionnelle : tous les composants sont connectés avec des interfaces identiques (*Sectional modularity*)
c) Modularité de type Bus : cas spécial de modularité sectionnelle où un seul composant appelé bus permet de connecter les autres composants

Evaluer le produit par rapport aux aspects d'acceptation et abandon listés :

13. Est-ce que le produit demande un entrainement particulier de l'utilisateur ?

a) Non, utilisation évidente
b) Oui, la lecture du manuel d'utilisation ou un explicatif visuel
c) Oui, avec l'aide d'un professionnel spécialisé

14. Sur l'assemblage du produit, il est possible d'affirmer :

a) Produit déjà assemblé
b) Produit facile à assembler
c) Produit assez difficile à assembler
d) Demande plusieurs personnes pour assembler le produit
e) Demande l'assemblage par un professionnel

15. Consommation d'énergie électrique

a) Le produit ne consomme pas d'énergie
b) Le produit nécessite d'être branché sur une prise électrique en permanence
c) Le produit possède une batterie rechargeable
d) Le produit fonctionne avec des piles
e) Le produit utilise une source alternative d'énergie (solaire…)
f) NA

16. Stockage du produit par l'utilisateur

a) Produit encombrant
b) Produit sensible aux UV
c) Produit sensible à l'humidité
d) Produit sensible à la température
e) Produit facile à stocker
f) NA

17. Transport du produit. En prenant en considération les caractéristiques du produit (poids, taille, format, présence d'attirails facilitant le transport ...), déterminer si :

a) Le transport du produit est facile

b) La difficulté de transport est moyenne
c) Le transport du produit est compliqué
d) Il n'est pas possible d'évaluer ce paramètre
e) NA

18. L'utilisateur du produit a besoin d'une aide extérieure pour :

a) Assembler le produit
b) Transporter le produit
c) Stocker le produit
d) Installer/Enlever le produit
e) Permettre l'utilisation d'une (de) fonction(s) du produit
f) Maintenance du produit
g) S'entrainer à l'utilisation du produit
h) Il n'est pas possible d'évaluer ce paramètre
i) NA

19. Prise en compte de l'opinion du client dans le choix du produit (Projet->Fabrication->Sélection->Essai->Adoption)

a) Depuis la phase de "Projet de produit" jusqu'à l'adoption
b) Depuis la phase de "Sélection de produit" jusqu'à l'adoption
c) L'opinion du client n'est pas prise en compte
d) Il n'est pas possible de vérifier la prise en compte de l'opinion du client
e) NA

20. Le propriétaire du produit est :

a) La personne en situation de handicap et/ou sa famille
b) La sécurité sociale, une clinique, un hôpital (ou services analogues)
c) Un professionnel de la santé
d) Entreprise offrant un service de location de produit "modèle produit-service"
e) Il n'est pas possible de savoir qui est le propriétaire
f) NA

ANNEXE 2 - NORMES POUR LES FAUTEUILS ROULANTS

Ses normes ont été développées par un comité des accessoires fonctionnels pour les personnes handicapées (ISO/TC 173) de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO).

Norme	Titre
ISO 10542-1 : 2012	Assistances et aides techniques pour les personnes invalides ou handicapées -- Systèmes d'attache du fauteuil roulant et de retenue de l'occupant -- Partie 01 : Exigences générales et méthodes d'essai pour tous les systèmes
ISO 10865-1 : 2012	Dispositifs d'immobilisation des fauteuils roulants et systèmes de retenue des occupants pour véhicules accessibles destinés au transport de passagers assis et debout -- Partie 01 : Systèmes pour passagers en fauteuil roulant assis dos à la route
ISO 10865-2 : 2015	Dispositifs d'immobilisation des fauteuils roulants et systèmes de retenue des occupants pour véhicules accessibles destinés au transport de passagers assis et debout -- Partie 02 : Systèmes pour les passagers assis dans des fauteuils roulants face à la route
ISO/TR 13570-1 : 2005	Fauteuils roulants -- Partie 01 : Lignes directrices pour l'application de la série ISO 7176 aux fauteuils roulants
ISO/TR 13570-2 : 2014	Fauteuils roulants -- Partie 02 : Valeurs types et limites ou dimensions recommandées, masses et espace requis pour manœuvres comme évalués dans l'ISO 7176-5
ISO 16840-10 : 2014	Fauteuils roulants -- Résistance à l'inflammation des coussins de sièges et de dossiers non intégrés -- Partie 10 : Exigences et méthodes d'essai
ISO 16840-1 : 2006	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 01 : Vocabulaire, convention des axes de référence et mesures des segments corporels, des surfaces de posture et du siège
ISO 16840-2 : 2007	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 02 : Détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des dispositifs de répartition de pression -- Coussins d'assise
ISO 16840-3 : 2014	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 03 : Détermination des efforts statiques, d'impact et cycliques pour les dispositifs de maintien de la posture
ISO 16840-4 : 2009	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 04 : Systèmes d'assise dans les véhicules à moteurs
ISO 16840-6 : 2015	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 06 : Simulation d'utilisation et détermination des changements de propriétés des coussins de sièges
ISO/TR 16840-9 : 2015	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 09 : Lignes directrices pour l'utilisation d'un système de mappage de pression
ISO/TS 16840-11 : 2014	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 11 : Détermination des caractéristiques de dissipation de la transpiration des coussins de siège destinés à préserver l'intégrité des tissus
ISO/TS 16840-12 : 2015	Sièges de fauteuils roulants -- Partie 12 : Appareillage et méthode d'essai de l'enveloppement du coussin
ISO 7176-1 : 2014	Fauteuils roulants -- Partie 01 : Détermination de la stabilité statique
ISO 7176-3 : 2012	Fauteuils roulants -- Partie 03 : Détermination de l'efficacité des freins
ISO 7176-5 : 2008	Fauteuils roulants -- Partie 05 : Détermination des dimensions, de la masse et de l'espace de manœuvre
ISO 7176-7 : 1998	Fauteuils roulants -- Partie 07 : Mesurage des dimensions d'assise et des roues
ISO 7176-8 : 2014	Fauteuils roulants -- Partie 08 : Prescriptions et méthodes d'essai pour la résistance statique, la résistance aux chocs et la résistance à la fatigue
ISO 7176-13 : 1989	Fauteuils roulants -- Partie 13 : Détermination du coefficient de frottement des surfaces d'essai
ISO 7176-15 : 1996	Fauteuils roulants -- Partie 15 : Exigences relatives à la diffusion des informations, à la documentation et à l'étiquetage
ISO 7176-16 : 2012	Fauteuils roulants -- Partie 16 : Résistance à l'inflammation des dispositifs de soutien postural
ISO 7176-19 : 2008	Fauteuils roulants -- Partie 19 : Dispositifs de mobilité montés sur roues et destinés à être utilisés comme sièges dans des véhicules à moteur
ISO 7176-22 : 2014	Fauteuils roulants -- Partie 22 : Procédures de réglage
ISO 7176-26 : 2007	Fauteuils roulants -- Partie 26 : Vocabulaire
ISO 7176-28 : 2012	Fauteuils roulants -- Partie 28 : Exigences et méthodes d'essai pour les dispositifs monte-escalier

Tableau 69 – Normes pour les Fauteuils Roulants

ANNEXE 3 - NORMES POUR LES CYCLES ET SES ENSEMBLES

Ses normes ont été développées par un comité des cycles et leurs principaux sous-ensembles (ISO/TC 149) de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO).

Norme	Titre
ISO 6692 : 1981	Cycles -- Marquage des pièces de cycles
ISO 6695 : 2015	Cycles -- Axe de pédalier et manivelle à emmanchement carré -- Dimensions d'assemblage
ISO 6696 : 1989	Cycles -- Filetages utilisés dans les ensembles boîtes de pédalier
ISO 6697 : 1994	Cycles -- Moyeux et roues libres -- Dimensions d'assemblage
ISO 6698 : 1989	Cycles -- Filetages utilisés pour l'assemblage des roues libres sur les moyeux de bicyclettes
ISO 6699 : 1990	Cycles -- Potence et cintre de guidon -- Dimensions d'assemblage
ISO 6701 : 1991	Cycles -- Dimensions extérieures des écrous de rayons
ISO 8488 : 1986	Cycles -- Filetages utilisés pour l'assemblage des "accessoires" de direction sur les fourches de bicyclettes
ISO 8562 : 1990	Cycles -- Angle du coin de serrage de potence
ISO 10230 : 1990	Cycles -- Pignons et corps d'entraînement cannelés -- Dimensions d'assemblage

Tableau 70 – Normes pour les Cycles et ses ensembles