



**HAL**  
open science

# Intégration des préférences des parties prenantes et amélioration de l'acceptabilité lors du processus de co-conception : application au système de santé

Giovanny Alberto Arbelaez Garces

## ► To cite this version:

Giovanny Alberto Arbelaez Garces. Intégration des préférences des parties prenantes et amélioration de l'acceptabilité lors du processus de co-conception : application au système de santé. Autre. Université de Lorraine, 2016. Français. NNT : 2016LORR0069 . tel-01752264

**HAL Id: tel-01752264**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01752264>**

Submitted on 29 Mar 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.



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

# Intégration des préférences des parties prenantes et amélioration de l'acceptabilité lors du processus de co-conception : application au système de santé

## THÈSE

soutenue publiquement le 24 mai 2016

pour l'obtention du

**Doctorat de l'Université de Lorraine**

(Génie des systèmes industriels)

par

**Giovanny Alberto ARBELAEZ GARCES**

### Composition du jury

<i>Président :</i>	Maria DI MASCOLO	Directrice de Recherche CNRS, G-SCOP, Grenoble
<i>Rapporteurs :</i>	M. Jean-Luc PARIS, M. Michel ALDANONDO,	Professeur, SIGMA, Clermont-Ferrand Professeur, École des Mines d'Albi
<i>Examineur :</i>	M. Eric LEVRAT,	Professeur, Université de Lorraine
<i>Co-directeurs :</i>	M. Eric BONJOUR, M. Auguste RAKOTONDRANAIVO,	Professeur, Université de Lorraine Maître de Conférences, Université de Lorraine

## Remerciements

Je remercie tout d'abord mes encadrants de thèse Eric Bonjour et Auguste Rakotondranaivo, qui se sont toujours rendus disponibles pour m'aider. Je les remercie de m'avoir guidé et conseillé tout au long de ce travail, leurs conseils toujours pertinents ont permis d'arriver aux résultats qui sont ici présentés.

Je remercie également le jury de thèse de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail, Messieurs Michel Aldanondo et Jean-Luc Paris, rapporteurs, Madame Maria Di Mascolo, présidente et Monsieur Eric Levrat, examinateur.

Si ce travail comporte plusieurs expérimentations c'est grâce à la société Belovia qui nous a fourni un terrain très riche. Cette jeune entreprise de la « silver économie » conçoit et commercialise des produits d'assistance au geste à destination des secteurs professionnels et particuliers. Leurs produits réinventent la relation entre l'aidant et l'aidé à travers des objets facilitateurs du geste ce qui présentait un cadre propice pour nos travaux de recherche avec les deux projets Ombistocking et Ombilift. Je souhaiterais particulièrement remercier Guillaume Gogué-Meunier et Romain Truong de la société Belovia de leur confiance et d'avoir partagé avec nous leur connaissance terrain pour alimenter nos réflexions.

Je remercie également les étudiants ingénieurs de l'ENSGSI qui ont participé aux différents projets et particulièrement à Marta Segarra-Brufau pour son travail sur la partie co-adaptation.

Merci à la directrice du laboratoire Laure Morel et le directeur de l'ENSGSI Pascal Lhoste pour m'avoir fourni des conditions propices à la réalisation de ce travail.

Merci aux chercheurs de l'ERPI pour leurs commentaires très pertinentes lors des séminaires et autres moments d'échange. Une pensée particulière à Mauricio Camargo, Davy Monticolo, Patrick Truchot, Frédérique Mayer, Laurent Dupont, Barthélemy Zoz. Également à Nicole Valence, Stéphane Schneider et Noémie Barthelemy pour leur support dans la partie administrative.

Bien sûr une pensée spéciale pour tous mes camarades doctorants pour tous les bons moments et les discussions idéalistes/scientifiques. Merci à Fabio puisque sans son aide, la soutenance aurait été difficilement compréhensible par le public.

Enfin, une pensée affectueuse pour mes amis, mes proches et ma famille. A mes parents, ma sœur, ma nièce pour leur soutien et amour inconditionnels. A mon épouse Diana parce que sans elle je ne me serais pas lancé dans cette aventure, mais surtout je n'aurais pas tenu jusqu'au bout.

*A ma famille.*

# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1 Contexte du domaine d'application . . . . .	2
2 Objectifs de recherche . . . . .	3
2.1 Vérifier l'applicabilité des démarches de co-conception dans le secteur de la santé . . . . .	3
2.2 Proposer une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile . . . . .	4
2.3 Proposer une démarche d'évaluation du niveau d'acceptabilité d'une solution . . . . .	4
2.4 Proposer une démarche d'amélioration du niveau d'acceptabilité . . . . .	5
3 Plan du document . . . . .	5
<b>Chapitre 1 État de l'art, contexte de recherche et problématique</b>	<b>8</b>
1.1 De l'innovation à la conception des produits . . . . .	9
1.2 La place de la génération de concepts nouveaux en Ingénierie Système . . . . .	10
1.3 Gestion des risques dans le projet de conception . . . . .	11
1.3.1 Prise en compte des parties prenantes . . . . .	12
1.3.2 Évaluation de l'acceptabilité . . . . .	13
1.4 Techniques de modélisation des préférences et d'évaluation de l'acceptabilité . . . . .	14
1.4.1 Raisonnement à partir des cas . . . . .	14
1.4.2 Méthodes multi-critères . . . . .	15
1.4.3 Réseaux Bayésiens (RB) . . . . .	16
1.4.4 Sélection des techniques . . . . .	18
1.5 Recherche des actions d'amélioration . . . . .	19
1.5.1 Techniques d'optimisation combinatoire . . . . .	19
1.5.2 Méthodes d'optimisation . . . . .	20
1.5.3 Sélection des méthodes . . . . .	22

---

1.6	Domaine de la santé : terrain d'application en génie industriel . . . . .	22
1.6.1	Sous-système opérationnel : similitudes et spécificités avec le secteur industriel . . . . .	23
1.6.2	Sous système de décision . . . . .	23
1.6.3	Complexité liée à l'environnement . . . . .	23
1.6.4	Caractéristiques des innovations en santé . . . . .	24
1.6.5	Freins aux innovations en santé . . . . .	25
1.7	Problématique et contributions de recherche . . . . .	25
<b>Chapitre 2 Co-conception : Intégrer les parties prenantes dans la conception</b>		<b>27</b>
2.1	Phases d'un processus de conception . . . . .	28
2.2	Vers des approches de co-conception . . . . .	31
2.2.1	Conception de l'expérience d'utilisateur (UX) . . . . .	31
2.2.2	Conception emphatique . . . . .	32
2.2.3	Conception centrée utilisateur . . . . .	32
2.2.4	Co-conception . . . . .	33
2.3	Synthèse des outils pour la démarche de co-conception . . . . .	34
2.3.1	Exploration . . . . .	34
2.3.2	Idéation . . . . .	37
2.3.3	Co-création . . . . .	38
2.3.4	Expérimentation . . . . .	39
2.3.5	Pouvoir du prototypage . . . . .	39
2.4	Expérimentation et analyse des outils de co-conception sur une étude de cas	43
2.4.1	Description du projet . . . . .	43
2.4.2	Exploration . . . . .	44
2.4.3	Idéation . . . . .	47
2.4.4	Co-création . . . . .	51
2.4.5	Expérimentation . . . . .	52
2.5	Intérêts et limites des approches de co-conception dans le domaine de la santé	54
<b>Chapitre 3 Co-conception d'un dispositif de maintien à domicile</b>		<b>56</b>
3.1	Contexte du maintien à domicile . . . . .	57
3.1.1	Différents acteurs impliqués . . . . .	58
3.1.2	Problématique . . . . .	61

---

3.2	Éléments d'une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile . . . . .	62
3.2.1	Identification des activités et besoins pour le maintien à domicile . . .	62
3.2.2	Identification des technologies et services . . . . .	64
3.2.3	Classification des technologies en fonction du degré de fragilité . . . .	64
3.3	Proposition d'une démarche de co-adaptation de l'habitat . . . . .	66
3.3.1	Analyse générale des besoins et des risques . . . . .	67
3.3.2	Détermination du niveau de risque de l'habitat . . . . .	67
3.3.3	Étude des technologies pour répondre aux besoins . . . . .	68
3.3.4	Étape de co-adaptation . . . . .	69
3.4	Expérimentation dans un projet pour le maintien à domicile . . . . .	69
3.4.1	Description du cas . . . . .	70
3.4.2	Analyse des besoins et des risques . . . . .	70
3.4.3	Détermination du niveau de risques de l'habitat . . . . .	70
3.4.4	Étude des solutions technologiques . . . . .	71
3.4.5	Étape de co-adaptation . . . . .	73
3.5	Limites et perspectives . . . . .	76
<b>Chapitre 4 Vers une démarche d'évaluation de l'acceptabilité</b>		<b>78</b>
4.1	Modèles d'évaluation de l'acceptabilité existants . . . . .	79
4.2	Modélisation des relations entre les critères . . . . .	82
4.2.1	Généralités sur les réseaux bayésiens . . . . .	83
4.2.2	Algorithmes pour la construction du réseau . . . . .	86
4.3	Proposition d'une démarche d'évaluation de l'acceptabilité . . . . .	87
4.3.1	Construction du Réseau bayésien . . . . .	89
4.3.2	Évaluation initiale de l'acceptabilité . . . . .	94
4.4	Cas d'application : Logiciel de pause active . . . . .	94
4.4.1	Construction du RB . . . . .	95
4.4.2	Évaluation initiale de l'acceptabilité . . . . .	97
4.5	Cas d'application : Dispositif d'enfilage de bas de contention médicale . . . .	100
4.5.1	Construction du RB . . . . .	100
4.5.2	Évaluation initiale de l'acceptabilité . . . . .	103
4.6	Critères spécifiques dans le domaine de la santé . . . . .	105
4.7	Conclusion . . . . .	106



---

<b>Chapitre 5 Recherche des actions d'amélioration de l'acceptabilité</b>	<b>109</b>
5.1 Algorithme d'optimisation par le recuit simulé . . . . .	110
5.2 Proposition d'une démarche d'optimisation . . . . .	111
5.2.1 Amélioration de l'acceptabilité . . . . .	112
5.3 Cas d'application . . . . .	117
5.3.1 Amélioration de l'acceptabilité . . . . .	117
5.4 Performances de l'algorithme . . . . .	123
5.5 Stratégies d'optimisation . . . . .	126
5.6 Priorités selon les parties prenantes . . . . .	128
5.7 Conclusion . . . . .	130
<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>132</b>
<b>Annexes</b>	<b>149</b>
<b>Annexe A Analyse de la valeur</b>	<b>149</b>
<b>Annexe B Diagramme d'interaction des acteurs projet Ombilift</b>	<b>151</b>
<b>Annexe C Questionnaire d'évaluation</b>	<b>152</b>
<b>Annexe D Outils de collecte de données</b>	<b>156</b>
<b>Annexe E Technologies pour le MAD</b>	<b>158</b>
<b>Annexe F Questionnaire co-adaptation</b>	<b>163</b>
<b>Annexe G Questionnaire co-adaptation MN et AB</b>	<b>169</b>
<b>Annexe H Catalogue co-adaptation</b>	<b>174</b>

# Table des figures

1	Structure des chapitres du manuscrit. . . . .	7
1.1	Processus de l'Ingénierie système d'après Faisandier (2012). . . . .	10
1.2	Évaluation des risques dans la gestion de projets. . . . .	12
1.3	Exemple de réseaux bayésiens. . . . .	17
1.4	Processus de résolution d'un problème d'optimisation. . . . .	20
1.5	Principe de fonctionnement d'un algorithme génétique. . . . .	22
2.1	Processus de développement des produits, adapté de (Ullman, 1994). . . . .	29
2.2	Processus simplifié de conception des produits d'après Cross (2008). . . . .	29
2.3	Phases du processus de conception, adaptée de (Brown, 2008). . . . .	30
2.4	Participants lors d'une séance de conception participative (source : notre recherche). . . . .	33
2.5	Essai d'une combinaison permettant d'expérimenter les déficiences liées au vieillissement (source : notre recherche). . . . .	35
2.6	Prototype et produit final pour un instrument médical . . . . .	41
2.7	Typologie des plateformes de test et expérimentation (source : Ballon, Pierson et Delaere (2005)). . . . .	42
2.8	Étapes de la démarche de co-conception pour le projet du dispositif de transfert. . . . .	44
2.9	Diagramme des acteurs et leurs intérêts dans le projet. . . . .	45
2.10	Produits de transfert existants. . . . .	47
2.11	Exemple de fiche idée générée dans la séance de créativité (canevas du dispositif « 48h pour innover ® »). . . . .	48
2.12	Mapping des solutions existantes. . . . .	49
2.13	Maquettes pour le concept de solution. . . . .	51
2.14	Vu de la modélisation du prototype avec le coussin gonflable. . . . .	52
2.15	Test et démonstration du prototype. . . . .	53
3.1	Identification des activités et des tâches. . . . .	63
3.2	Relation entre technologies/services et risques/besoins. . . . .	64
3.3	Démarche de co-adaptation. . . . .	67
3.4	Exemple d'évaluation du niveau de risque pour la maison. . . . .	71
4.1	Modèle de Nielsen, traduit de (Nielsen, 1993). . . . .	80
4.2	Modèles TAM et TAM2 sur l'acceptabilité technologique. . . . .	81
4.3	Modèle TAM présenté par le formalisme bayésien. . . . .	84

---

4.4	Exemple de raisonnements sur le RB. . . . .	85
4.5	Démarche de création d'un réseau bayésien. . . . .	87
4.6	Place de l'évaluation de l'acceptabilité dans le processus de conception. . . . .	88
4.7	Démarche d'évaluation de l'acceptabilité. . . . .	88
4.8	Exemple des niveaux IAP pour les différentes parties prenantes. . . . .	91
4.9	Réseau bayésien correspondant au modèle de l'exemple. . . . .	92
4.10	Exemple d'échelle d'évaluation pour le questionnaire. . . . .	93
4.11	Modèle d'évaluation pour le cas du logiciel de pause active. . . . .	95
4.12	Capture d'écran de l'interface proposée par le logiciel de pause active. . . . .	97
4.13	Estimation de l'acceptabilité pour le cas du logiciel de pause active. . . . .	98
4.14	Simulation de l'intention d'usage (ITU) à la valeur maximale (7). . . . .	98
4.15	Profil de l'influence sociale (SI1) au niveau maximal. . . . .	99
4.16	Modèle d'évaluation pour le cas de dispositif d'enfilage de bas de contention. . . . .	101
4.17	Test du prototype avec les utilisateurs. . . . .	102
4.18	Évaluation initiale pour le cas. . . . .	103
4.19	Inférence du niveau IAP = 6. . . . .	104
4.20	Inférence du niveau SI = 7. . . . .	104
5.1	Recherche des minima dans le recuit simulé. . . . .	111
5.2	Étapes de la démarche d'optimisation. . . . .	112
5.3	Aperçu du système d'optimisation des actions. . . . .	113
5.4	Aperçu du problème d'optimisation. . . . .	115
5.5	Niveau évalué des critères d'acceptabilité pour l'exemple d'application. . . . .	117
5.6	Niveau d'influence modélisé des actions sur chaque critère en échelle de couleurs. . . . .	119
5.7	Évolution de l'algorithme d'optimisation pour l'exemple de 15 actions. . . . .	121
5.8	Distribution des valeurs des critères pour chaque solution. . . . .	122
5.9	Distribution de l'espace de solutions pour 20 actions. . . . .	125
5.10	Temps d'exécution augmente de façon exponentielle avec l'espace de solution pour une recherche exacte. . . . .	126
5.11	Comparatif de valeurs des critères obtenues avec chaque stratégie d'optimisation. . . . .	128
5.12	Exemple de RB pour évaluer l'acceptabilité de trois parties prenantes. . . . .	129
5.13	Exemple de stratégies d'optimisation avec les niveaux IAP pour des différentes parties prenantes. . . . .	129

# Introduction

Face aux impératifs de performance et dans un environnement complexe en perpétuel changement, les innovations constituent une préoccupation majeure des organisations. La démarche de conception adaptée dans le cadre de ces innovations conditionne leur réussite. Les démarches actuelles ne prennent pas en compte uniquement les préoccupations liées aux objectifs de « coût/délai/qualité/sécurité », mais elles vont au-delà pour concevoir des produits satisfaisant les besoins des différentes parties prenantes. Le terme « produit » dans l'ensemble de ce document désigne au sens large produit, service, procédé, processus, organisation. Les parties prenantes sont tous les acteurs concernés par un projet de conception y compris les futurs utilisateurs. Leurs besoins et préférences peuvent être divergents voire contradictoires. Dans l'industrie aéronautique par exemple, les constructeurs d'avions développent des produits pour satisfaire les besoins des compagnies aériennes, des opérateurs (pilotes, hôtesses, stewards...) et des clients finaux (passagers). Dans l'industrie médicale et pharmaceutique, les produits sont conçus pour que les professionnels de santé (médecins, infirmiers, aide-soignants...) puissent soigner les patients, mais les établissements de santé ou même les autorités de santé sont les acheteurs. Une meilleure compréhension et prise en compte des interactions entre ces acteurs pour réussir la conception de systèmes complexes et multi-utilisateurs s'avèrent indispensables. Ces constats confirment l'importance de la conception des produits en tenant compte de l'expérience des utilisateurs afin d'augmenter leur acceptabilité (Aquino Shluzas et Leifer, 2014). Pour cela, les approches de conception évoluent vers une plus forte intégration des différentes parties prenantes dans le processus de conception (dans le cadre de ce mémoire la phase de conception correspond à la génération et à l'évaluation de concepts nouveaux), on parle alors de co-conception.

Actuellement, les approches de conception centrée utilisateur (*user-centered design*), les Living Labs ainsi que tous les systèmes d'innovation ouvertes (*open innovation*) promeuvent l'intégration de l'utilisateur et de tous les parties prenantes à travers le processus de co-conception (Chesbrough, 2003; Camargo et al., 2012; Aquino Shluzas et Leifer, 2014). Un nombre croissant d'entreprises adoptent des stratégies de co-conception afin de minimiser les risques de non acceptation dans le développement de nouveaux produits (Durrugbo, 2014).

Même si les pratiques de conception ont évolué au niveau de la gestion des projets, les méthodes et outils pour l'évaluation et le contrôle de ces pratiques n'ont pas suivi le pas. En effet, les évaluations des risques concernant les aspects économiques, les délais, les risques techniques et de fiabilité sont des pratiques courantes (Project Management Institute, 2009). Cependant, les évaluations concernant les risques de non acceptation du produit par les parties prenantes sont insuffisantes.

L'adoption d'un nouveau produit est liée aux opinions d'acceptation ou rejet par les individus. Le défi des concepteurs consiste à comprendre et maîtriser les facteurs qui contribuent à l'acceptation. Dans ce document nous considérons le processus d'adoption des produits comme un *continuum* temporel. Les éléments influençant l'usage peuvent être étudiés alors en trois temps différents : l'acceptabilité (*a priori*), l'acceptation et l'appropriation (Bobillier-Chaumon et Dubois, 2009 ; Terrade et al., 2009 ; Reerink-boulangier, 2012). L'acceptabilité se réfère aux représentations subjectives de l'usage du produit, en phase de génération des concepts. Dans ce contexte des dimensions telles que « l'utilité perçue » et la « facilité d'usage » sont prises en compte. L'acceptation se réfère à l'étude des facteurs qui ont un impact sur les interactions entre le produit développé et l'utilisateur. Finalement, un produit est dit innovant si son appropriation (adoption) est jugée effective lors de la phase d'usage.

Dans ce document, nous proposons d'étudier l'intérêt et limites des méthodologies de co-conception. Nous étudions l'évaluation des risques de non-acceptation des produits dans le projet. Cela se traduit dans ces travaux par la proposition d'une approche permettant d'estimer les probabilités d'acceptation par les futurs utilisateurs d'un produit lors de la phase de conception. Une approche pour améliorer les probabilités d'acceptation en découle.

## 1 Contexte du domaine d'application

Nos travaux de recherche sont réalisés au sein du laboratoire ERPI (Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs) EA 3767 de l'Université de Lorraine. Ils font partie de la continuité des travaux de recherche de notre équipe dans l'adaptation des modèles, méthodes et des outils du génie industriel aux problématiques du domaine de la santé.

Le domaine de la santé est soumis à des contraintes fortes et doit entamer des chantiers de restructuration. Les innovations technologiques représentent une opportunité d'adaptation à ces changements qui doivent être menés par les acteurs de santé. Par exemple, face au vieillissement de la population et à l'insuffisance du nombre des professionnels de santé, la télé-médecine ou la robotique médicale se présentent comme des solutions innovantes. Le domaine de la santé est également complexe avec une multitude d'acteurs, des contraintes réglementaires, éthiques et des risques liés à la santé des patients. Il représente donc un terrain propice aussi bien pour les industriels et les chercheurs.

Nous retrouvons un intérêt croissant des industriels pour appliquer des méthodologies de co-conception dans les systèmes de santé. L'entreprise Philips par exemple a ouvert en Septembre 2015 aux Pays-Bas un centre de co-création pour développer avec les centres de santé des innovations technologiques<sup>1</sup>. Les systèmes de santé suscitent également un intérêt croissant comme terrain d'application en sciences de l'ingénieur en raison de leurs similitudes et de leurs spécificités par rapport aux systèmes industriels. Rakotondranaivo, Grandhaye et Guillemin (2006) affirment que les systèmes de santé comme les hôpitaux, les services et établissements médico-sociaux, les réseaux de santé peuvent être assimilés à des « systèmes de production complexes de soins et de services ». Les méthodes et outils issus du Génie industriel ont fait leur preuve pour résoudre des problématiques variées dans ce

---

1. <http://philips.to/1SWy8Jd>

domaine comme peuvent en témoigner les travaux du groupe de travail GISEH (Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers) au sein de la communauté GDR MACS (Groupe de Recherche du CNRS en Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques).

Si les outils du génie industriel peuvent appuyer les changements dans le secteur de la santé, leur passage d'un domaine à l'autre doit se faire avec précautions. En effet, dans le domaine de la santé, il existe de nombreuses contraintes au niveau réglementaire. Par ailleurs, l'objet de préoccupation est de nature différente dans les deux domaines. Dans le domaine industriel certaines décisions à risque élevé peuvent être prises pour réduire des coûts, mais dans le domaine de la santé, les risques doivent être limités si la santé d'un patient est compromise. Une défaillance dans la ligne de production d'un produit industrialisé peut entraîner des pertes matérielles et économiques. La défaillance d'une unité de soins peut entraîner la perte de vies humaines.

Partant de ces constats, le cadre de ce travail de recherche est construit à partir des problématiques suivantes :

- Comment évaluer et améliorer l'acceptabilité d'un produit lors de la conception ?
- L'intégration des préférences des parties prenantes très tôt en conception favorise-t-elle l'acceptabilité du futur produit ?
- Comment s'assurer que les propositions sont applicables au domaine de la santé ?

## 2 Objectifs de recherche

Nos travaux contribuent à l'évolution des approches de conception intégrant les préférences des différentes parties prenantes (co-conception).

La contribution principale de cette thèse peut être résumée ainsi :

- Proposer des modèles, méthodes et outils pour l'évaluation et l'amélioration de l'acceptabilité d'un produit lors d'un projet de conception.

Cette contribution se décline en quatre objectifs opérationnels :

- Vérifier l'applicabilité et limites des démarches de co-conception dans le secteur de la santé.
- Proposer une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile.
- Proposer une démarche d'évaluation du niveau d'acceptabilité d'une solution.
- Proposer une démarche d'amélioration du niveau d'acceptabilité évalué, permettant la recherche et simulation de scénarios d'amélioration.

### 2.1 Vérifier l'applicabilité des démarches de co-conception dans le secteur de la santé

Plusieurs auteurs soulignent les avantages liés à l'intégration des parties prenantes lors de la conception d'un nouveau produit (Chesbrough, 2003 ; Camargo et al., 2012 ; Aquino Shluzas et Leifer, 2014). Un nombre croissant d'entreprises adoptent des stratégies de co-conception afin de minimiser les risques de non acceptation dans le développement de nouveaux produits (Durugbo, 2014). Cependant, le passage de ces démarches vers le monde de

la santé doit se faire en restant vigilant face aux spécificités de ce secteur et il est important d'étudier les avantages et les limites de leur application.

## **2.2 Proposer une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile**

Le secteur de la santé est un vivier de problématiques de recherche. Les approches pour traiter les problématiques de la chaîne de flux et de la gestion des opérations suscitent le plus d'intérêt des chercheurs en Génie industriel (Fowler et al., 2011). Les problématiques liées à la conception innovante sont insuffisamment développées (Arbelaez-garces, Rakotondranaivo et Bonjour, 2014). En France, une préoccupation particulière concerne les personnes âgées et à mobilité réduite. Dans ce sens, nous abordons la problématique du vieillissement et du maintien à domicile par une démarche de co-adaptation de l'habitat en fonction des caractéristiques de la personne fragile (degré de fragilité, niveau financier ...) et de son environnement (aidant, famille...).

L'introduction des technologies innovantes nécessite une re-configuration de l'organisation qui doit être adaptée en prenant en compte les intérêts, besoins et préférences des différentes parties prenantes pour faciliter le changement. Le cas du maintien à domicile est particulièrement sensible à ce type de démarche. Notre objectif est donc de proposer et tester un méthode de co-adaptation spécifique à cette problématique du monde de la santé.

## **2.3 Proposer une démarche d'évaluation du niveau d'acceptabilité d'une solution**

La démarche de co-conception devrait faciliter l'acceptation du produit conçu par les futurs utilisateurs. Or l'utilisation de la méthode est aujourd'hui le seul moyen de favoriser l'acceptation, ce qui est contraire à la gestion des risques dans les projets de conception. Dans ces projets, il est courant de contrôler et gérer les risques (économiques, calendaires, techniques) à partir d'évaluations et estimations. Néanmoins, une estimation du niveau d'acceptabilité de la solution par les futurs utilisateurs et les autres parties prenantes dès les phases amont de la conception n'est pas menée.

Une démarche de ce type requiert la mesure de la satisfaction des utilisateurs (Jiang et al., 2015). Dans cette perspective, l'évaluation de l'acceptabilité peut être utilisée pour mesurer les probabilités de succès du nouveau concept (Luo, Su et Lee, 2011). Estimer un indice d'acceptabilité pendant les phases de conception nécessite des méthodes et modèles appropriés. Les méthodes existantes ne caractérisent pas les relations entre les critères évalués et l'indice d'acceptabilité. Pour mener l'évaluation, les parties prenantes vont exprimer leur avis sur différents critères influençant l'acceptabilité. Cette information est par nature incertaine et incomplète car d'une part la situation de test est différente de la situation d'usage futur, et d'autre part, le concept de solution (prototype) n'est qu'une représentation partielle du produit fini. Pour pallier ces limites, les Réseaux Bayésiens semblent être une technique de modélisation appropriée car ils fournissent des représentations visuelles des relations et permettent la gestion des données incertaines. En outre, ils peuvent être utilisés pour la prédiction et le diagnostic, ce qui peut être utile pour l'estimation de l'indice

d'acceptabilité (prévision) et pour la recherche de critères clés qui influencent grandement l'indice d'acceptabilité (diagnostic).

## 2.4 Proposer une démarche d'amélioration du niveau d'acceptabilité

La démarche d'évaluation du niveau d'acceptabilité du produit lors de la conception permet au chef de projet de maîtriser les risques d'échec du projet. L'identification des actions d'amélioration du niveau d'acceptabilité permet d'identifier plusieurs scénarios d'amélioration possibles. L'estimation de l'acceptabilité avec les réseaux bayésiens devrait être utile pour calculer l'impact des ensembles d'actions (scénario d'amélioration) sur l'indice d'acceptabilité. Déterminer la liste optimale d'actions qui permettront d'augmenter l'indice d'acceptabilité jusqu'à un niveau cible tout en minimisant le coût des actions requises n'est pas une tâche simple, car il peut être difficile de trouver le bon équilibre entre les actions possibles, leur coût associé (ressources techniques, humaines et matérielles) et leur effet sur l'indice d'acceptabilité (Alsawalqah, Kang et Lee, 2014). Ce problème d'optimisation est équivalent à la sélection de  $k$  actions dans un ensemble de  $n$  actions, en calculant le nouvel indice d'acceptabilité pour l'ensemble sélectionné. La complexité de cette opération dépend du nombre de  $k$ -combinaisons  $C_n^k$ , soit  $\sum_{0 \leq k \leq n} \binom{n}{k} = 2^n$ . Lorsque  $n$  augmente, le temps de recherche va considérablement augmenter. Une méta-heuristique est utile pour résoudre les grands problèmes ( $n > 20$  actions). Parmi les méta heuristiques, le recuit simulé est une heuristique appropriée pour résoudre ce type de problème. Il est facile de trouver une solution initiale pour ce problème qui consiste à sélectionner toutes les actions et de définir les voisins en ajoutant ou retirant une action de la combinaison actuelle. Bien que cette technique n'arrive pas toujours à trouver la solution optimale, elle permet de trouver une très bonne solution la plupart du temps. Dans cet objectif nous proposons une méthode pour résoudre le problème de l'amélioration de l'acceptabilité du produit.

## 3 Plan du document

Nous avons structuré ce document en 5 chapitres permettant d'aborder le contexte scientifique, les travaux empiriques et les contributions répondant à la problématique et aux objectifs énoncés auparavant (cf. Figure 1).

- **Chapitre 1.** Cette partie comporte le contexte scientifique et d'application de nos travaux de recherche. Nous allons récapituler les méthodologies de conception permettant d'intégrer les préférences des différentes parties prenantes. Nous mettons en évidence le manque d'une étape d'évaluation de l'acceptabilité du produit permettant de vérifier que les préférences des différentes parties prenantes sont prises en compte dans la solution. Nous présentons pour cela les théories et modèles existants permettant d'évaluer l'acceptabilité des solutions. Nous introduisons les outils de modélisation et de raisonnement nous permettant de réaliser cette évaluation. L'évaluation sert pour améliorer, nous exposons les méthodes permettant la recherche et le choix d'actions d'amélioration. Enfin, nous présentons le contexte de l'application des techniques du génie industriel dans le domaine de la santé qui est notre domaine d'application.



La suite de ce document correspond aux contributions sur les différentes problématiques identifiées. Chaque chapitre présente les concepts nécessaires pour l'aborder, une proposition méthodologique et une application sur terrain.

- **Chapitre 2.** Nous présentons une expérimentation des outils et démarches de co-conception appliqués à un cas dans le domaine de la santé.
- **Chapitre 3.** Nous proposons une démarche de co-adaptation permettant le maintien à domicile des personnes âgées dépendantes. La démarche répond à une problématique d'actualité du secteur de la santé.
- **Chapitre 4.** Nous proposons un modèle et une démarche permettant d'évaluer le niveau d'acceptabilité d'un produit lors de la conception, ces propositions sont illustrées avec deux applications industrielles.
- **Chapitre 5.** Nous exposons une démarche de recherche des actions pour l'amélioration du niveau d'acceptabilité (estimé) du système en conception selon la stratégie choisie par le chef de projet.

Ce document se termine par une partie **conclusion et perspectives** synthétisant nos contributions et présentant des pistes de recherche.

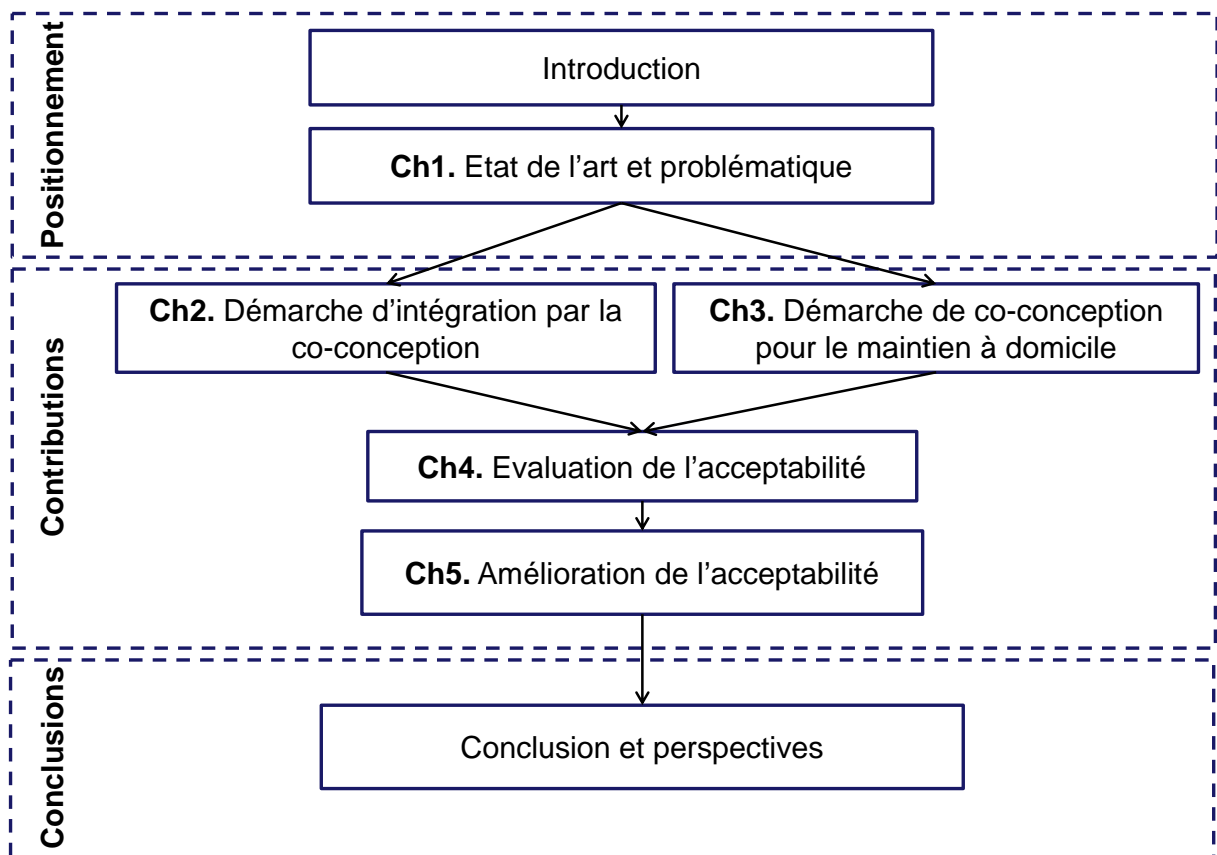


FIGURE 1 – Structure des chapitres du manuscrit.

# Chapitre 1

## État de l'art, contexte de recherche et problématique

### Sommaire

---

<b>1.1</b>	<b>De l'innovation à la conception des produits</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>La place de la génération de concepts nouveaux en Ingénierie Système</b>	<b>10</b>
<b>1.3</b>	<b>Gestion des risques dans le projet de conception</b>	<b>11</b>
1.3.1	Prise en compte des parties prenantes	12
1.3.2	Évaluation de l'acceptabilité	13
<b>1.4</b>	<b>Techniques de modélisation des préférences et d'évaluation de l'acceptabilité</b>	<b>14</b>
1.4.1	Raisonnement à partir des cas	14
1.4.2	Méthodes multi-critères	15
1.4.3	Réseaux Bayésiens (RB)	16
1.4.4	Sélection des techniques	18
<b>1.5</b>	<b>Recherche des actions d'amélioration</b>	<b>19</b>
1.5.1	Techniques d'optimisation combinatoire	19
1.5.2	Méthodes d'optimisation	20
1.5.3	Sélection des méthodes	22
<b>1.6</b>	<b>Domaine de la santé : terrain d'application en génie industriel</b>	<b>22</b>
1.6.1	Sous-système opérationnel : similitudes et spécificités avec le secteur industriel	23
1.6.2	Sous système de décision	23
1.6.3	Complexité liée à l'environnement	23
1.6.4	Caractéristiques des innovations en santé	24
1.6.5	Freins aux innovations en santé	25
<b>1.7</b>	<b>Problématique et contributions de recherche</b>	<b>25</b>

---

Ce premier chapitre sert à présenter une revue de la littérature couvrant les domaines concernés par nos travaux de recherche. Dans le processus de conception de nouveaux produits il est conseillé d'intégrer les préférences des parties prenantes pour diminuer les risques de non-acceptabilité du produit. Les pratiques de conception permettant la prise en compte des parties prenantes sont conseillées. Cependant, ces pratiques de conception seules ne sont pas suffisantes. En analysant les pratiques de gestion des risques dans les projets de conception, nous constatons le manque d'une évaluation permettant de vérifier que les préférences et besoins des différentes parties prenantes sont prises en compte dans la solution. Pour construire cette évaluation des modèles et des outils sont nécessaires. Nous introduisons par la suite de ce chapitre des outils de modélisation et de raisonnement nous permettant de réaliser cette évaluation. Ensuite nous présentons le contexte de la recherche en génie industriel dans le domaine de la santé.

## 1.1 De l'innovation à la conception des produits

Les organisations doivent s'adapter à l'environnement et répondre avec des solutions innovantes pour se développer. Pour Schumpeter (1934) les innovations résultent de l'introduction d'un nouveau bien ou service, d'une nouvelle méthode de production, de l'ouverture d'un nouveau marché ou de la mise en œuvre d'une nouvelle organisation. L'AFNOR (2003) pour sa part définit l'innovation comme un « processus qui conduit à la mise en œuvre d'un ou de plusieurs produits, services, procédés, formes d'organisation, modèles d'affaire, nouveaux ou améliorés, susceptibles de répondre aux attentes implicites ou explicites et de générer une valeur économique, environnementale ou sociétale pour toutes les parties prenantes ». Pour Ben Rejeb, Boly et Morel-Guimarães (2011), c'est le processus d'introduction d'une nouveauté dans un système, permettant ainsi de considérer les changements sur les produits, les procédés, les marchés, les organisations et pouvant avoir un degré d'innovation variable. L'innovation est donc la création d'un nouveau produit (ou service) permettant de satisfaire les besoins des individus, tout en soulignant qu'il n'y a réellement d'innovation qu'avec son insertion dans la réalité et donc son *adoption* par la société. La réussite du processus d'innovation est un phénomène complexe, qui fait appel aux compétences de l'organisation. La capacité à innover constitue donc un vecteur privilégié de différenciation stratégique des entreprises (Galvez-Manriquez, 2015).

Pour amener le produit sur le marché, le processus d'innovation est long et complexe. Il nécessite la participation des acteurs avec des compétences variées. Son succès est principalement le fruit de sa gestion. Il est normalement organisé en projets de conception.

Le projet de conception est défini comme « l'étude fonctionnelle du produit/système à concevoir et de ses relations avec les utilisateurs dans son environnement d'usage ». Concevoir consiste à faire quelque chose de nouveau pour satisfaire les besoins du demandeur ou de l'utilisateur selon des critères de coûts, de qualité et de délai (Dieter et Schmidt, 2009).

Dans la littérature différents auteurs se réfèrent au processus de conception de façon variée (Ullman, 1994 ; Suh, 1998 ; Koen, Ajamian et Burkart, 2001 ; SEBoK Authors, 2015). Processus de développement des nouveaux produits (NPD), processus d'innovation, processus de conception, entre autres. L'enchaînement des phases est également varié. La figure 1.1 représente le cycle de conception selon l'ingénierie système. Pour certains auteurs, l'innova-

tion (ou la conception) correspond au cycle entier de développement d'un nouveau produit, de l'étude des besoins et la génération de nouveaux concepts jusqu'à la commercialisation et l'appropriation du produit par le marché. Pour d'autres, elle correspond uniquement à la phase amont du processus de développement. Dans notre recherche, nous nous intéressons aux premières étapes de ce processus qui correspond à l'étape de *définition de concepts nouveaux* en Ingénierie Système (SEBoK Authors, 2015) ou au *Fuzzy Front End* dans le NPD (Koen, Ajamian et Burkart, 2001). Pour préciser notre positionnement, nous proposons de situer nos recherches en fonction du degré de concrétisation des objets intermédiaires de conception (OIC) (Stoeltzlen, 2004). Ces objets sont des représentations intermédiaires d'un produit au sein du projet de conception. Dans cette recherche, nous nous intéressons aux OIC suffisamment concrétisés pour être testés avec les futurs utilisateurs (maquette ou prototype).

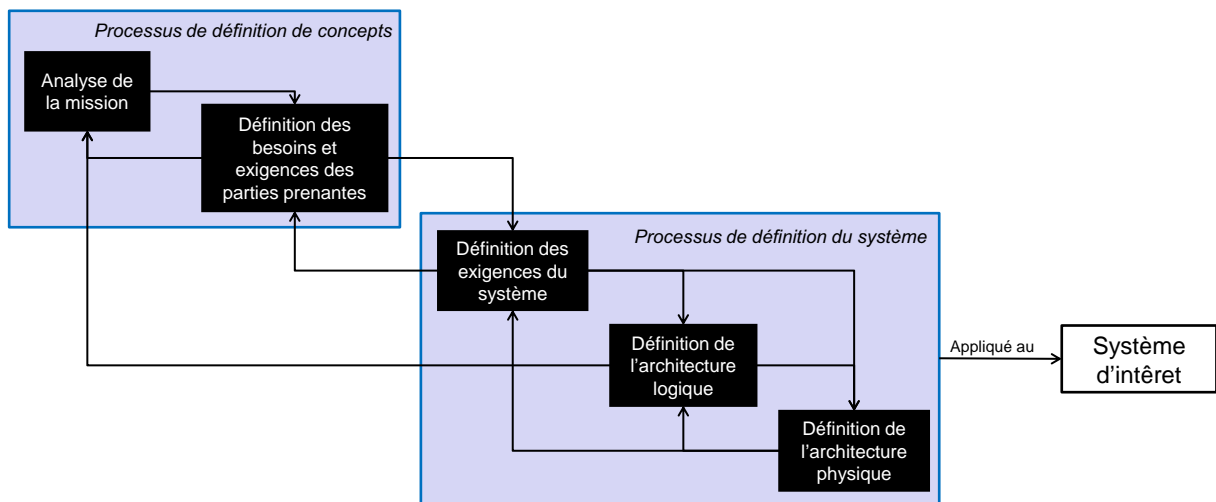


FIGURE 1.1 – Processus de l'Ingénierie système d'après Faisandier (2012).

## 1.2 La place de la génération de concepts nouveaux en Ingénierie Système

Le processus de conception d'un système selon l'Ingénierie système (cf. figure 1.1) comporte deux grandes phases. Le processus de définition de concepts nouveaux (*concept definition*) dans lequel sont examinés l'espace du problème ainsi que les besoins et exigences des différents parties prenantes. Ce processus comprend deux activités génériques d'analyse de la mission du système et la définition des besoins et exigences des parties prenantes. Ces activités devraient faire appel à des méthodes de l'innovation (analyse des besoins, analyse de la valeur, créativité entre autres). Dans le processus de définition du système (*system definition*) sont considérés les aspects fonctionnels, comportementaux, temporels et physiques d'une ou plusieurs solutions basées sur les résultats de la définition du concept. Dans l'analyse du système les avantages et les inconvénients des solutions proposées sont considérés pour évaluer leur niveau de satisfaction des besoins et comparer leur coût. Cela peut néces-

siter plus de raffinement de la phase de définition de concepts nouveaux pour s'assurer que toutes les exigences des parties prenantes ont été prises en compte dans une architecture de solution particulière. C'est pour cela que ces processus ne sont pas faits de façon séquentielle mais de façon itérative et concourante.

La phase de génération de concepts nouveaux est un processus de l'Ingénierie Système qui est peu détaillé et qui a fait l'objet de relativement peu d'études. A l'inverse, la phase de définition du système est très détaillée aujourd'hui avec de nombreuses recherches réalisées en Ingénierie système sur ce processus. Nous considérons que la phase de génération de concepts nouveaux mérite encore des approfondissements pour préciser les méthodes et pratiques utiles à la génération de nouveaux concepts. Le travail réalisé dans cette thèse apportera des méthodes utiles à cette phase de *concept definition*.

La gestion de projets de conception génère des risques. Ces derniers peuvent être positifs (des gains espérés) ou négatifs (des problèmes). Le responsable de projet doit prendre en compte les facteurs de risques en cherchant à maîtriser ceux qui peuvent entraîner l'échec du projet (Cooper et al., 2004).

## 1.3 Gestion des risques dans le projet de conception

La gestion des risques du projet se décompose en processus d'analyse, en processus décisionnel et en processus de capitalisation (Cooper et al., 2004 ; Project Management Institute, 2009 ; Maders et Masselin, 2009). La démarche globale comprend l'identification, l'analyse et le traitement de trois catégories de risques :

- risques financiers.
- risques calendaires.
- risques sur la qualité du produit.

Le schéma 1.2 présente les éléments de l'évaluation des risques dans la gestion de projets. Des démarches spécifiques aux risques du projet existent (Desroches, 2008). Ces pratiques de gestion de projet intègrent des démarches d'évaluation des risques liés aux coûts, aux délais et à la qualité du produit (Cooper et al., 2004 ; Project Management Institute, 2009). Dans le domaine de la qualité, les évaluations se réfèrent à la maîtrise technique et aux aspects liés à la fiabilité et aux défaillances du produit en voie de conception (Mauborgne et al., 2015).

Nous pouvons observer qu'un élément important pour gérer les risques liés à la qualité du produit est son acceptabilité. Fournir un produit pouvant être accepté par les utilisateurs est l'objectif de la conception du produit. Ce facteur est essentiel dans la réussite d'un projet. Même si un projet est satisfaisant en termes de délais et budgets, il sera voué à l'échec si la solution n'est pas acceptée par les utilisateurs. Pourtant les outils de gestion de projet et des risques sont limités sur cet aspect (Project Management Institute, 2009). Dans les démarches de conception comme celle de l'ingénierie système, il existe une étape pour la définition et la validation des besoins et spécifications des utilisateurs. Cette validation reste insuffisante car elle n'intervient qu'à la fin de la conception (SEBoK Authors, 2015). L'implication des parties prenantes au cours de la conception reste pourtant insuffisante, ce qui crée l'effet tunnel, problème résolu par les approches agiles. La marge de manœuvre est également limitée

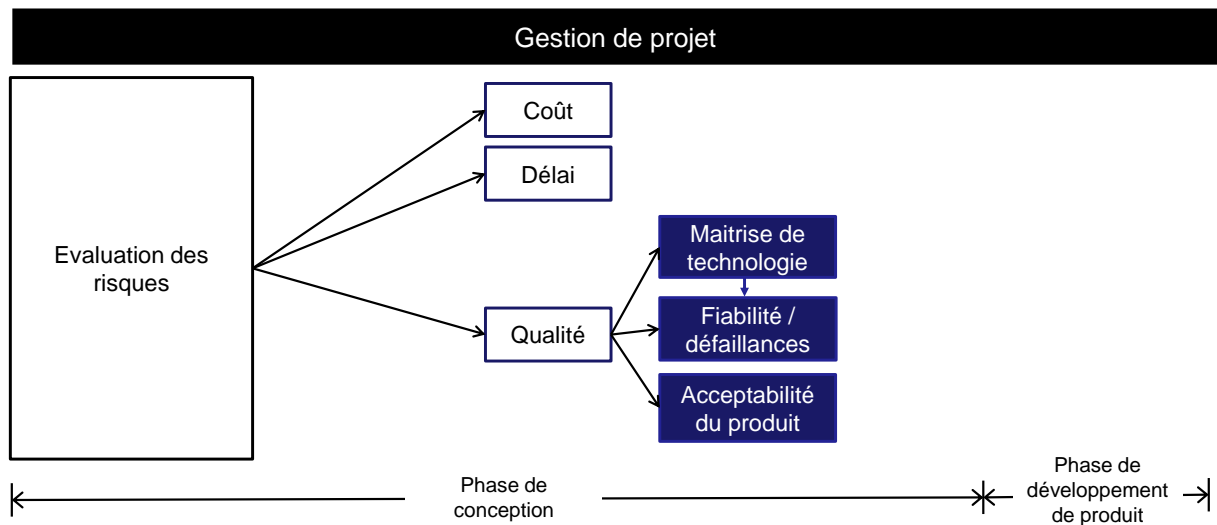


FIGURE 1.2 – Évaluation des risques dans la gestion de projets.

pour le chef de projet car la validation lui permet uniquement de valider si le produit est conforme aux spécifications mais s’il ne l’est pas, il faut recommencer.

Pour réduire les risques de non acceptabilité du produit, il faut s’assurer que le cahier de charge défini correspond aux besoins et préférences des différentes parties prenantes. Pour cela, il est fortement conseillé d’intégrer les différentes parties prenantes dans le processus de conception (Aquino Shluzas et Leifer, 2014).

### 1.3.1 Prise en compte des parties prenantes

Dans le guide du corpus de connaissances de l’ingénierie système (SEBoK Authors, 2015) la prise en compte des différentes parties prenantes est primordiale. Lors de l’activité de « définition des concepts » il faut identifier les besoins et exigences liés aux différentes parties prenantes. Plusieurs auteurs soulignent les bénéfices d’intégrer les utilisateurs dans les processus de conception (Aquino Shluzas et Leifer, 2014 ; Bano et Zowghi, 2015). Leurs jugements sont indispensables lors de l’évaluation de l’efficacité et les bénéfices/risques. Cela permet d’anticiper les situations d’usage et de minimiser les résistances au changement comportemental. Staccini et Quaranta (2000) montrent que l’implication de l’utilisateur dans la démarche de conception d’un système d’information hospitalier est incontournable, comme en témoigne l’analyse des causes d’abandon de projets.

Par ailleurs, les approches de conception centrées utilisateur, les Living Labs ainsi que tous les systèmes d’innovation ouvertes promeuvent l’intégration des parties prenantes à travers le processus de conception (Chesbrough, 2003 ; Camargo et al., 2012 ; Aquino Shluzas et Leifer, 2014). En effet, les Living Labs se caractérisent par une implication forte des utilisateurs et un travail collaboratif pluridisciplinaire tout au long du processus de conception (Pallot et al., 2010). Nos travaux de recherche étant développés au sein du laboratoire ERPI, nous avons eu la possibilité de profiter de l’expérience de sa plateforme d’expérimentation la Lorraine Fab Living Lab (LF2L, anciennement Lorraine Smart Cities Living Lab).

Cependant, l’intégration des utilisateurs et des autres parties prenantes doit se faire de

façon systématique et contrôlée. Bano et Zowghi (2015) ont montré que l'intégration des utilisateurs contribue au succès du système mais que si celle-ci n'est pas gérée elle peut causer plus de problèmes que de bénéfices. Par exemple, des problèmes liés à la communication, à des malentendus entre les parties prenantes et les concepteurs ou à des intérêts divergents entre les parties prenantes.

L'intégration des préférences des différentes parties prenantes peut être accompagnée par la construction de modèles représentatifs permettant de mieux orienter la prise de décision des concepteurs. En effet, les éléments de perception sont souvent subjectifs et peuvent prendre en compte des éléments difficilement exprimés et définis comme les émotions. Kim et al. (2016) ont proposé un modèle des émotions à travers une étude sur l'appréciation des téléphones portables. Levrat et al. (1997) ont proposé de fournir une aide pour faciliter l'évaluation subjective du confort des sièges automobiles avec la construction d'un modèle basé dans la connaissance des experts. Camargo, Wendling et Bonjour (2014) ont proposé une méthodologie permettant l'identification des attributs sémantiques pour représenter les préférences des utilisateurs. Leur méthodologie permet d'identifier les interactions entre les différents attributs pour valider leur concept de solution.

Ces types de pratiques sont cependant peu explorés dans le secteur de la santé parce que ces modèles ne sont pas connus par les professionnels de santé. Il existe également une réticence à tester avec les patients des produits qui ne sont pas homologués (certifiés) à cause des risques médico-légaux (Birraux et Le Déaut, 2012). Comment pratiquer ces méthodes pour la conception en santé et quelles démarches spécifiques peuvent être introduites ? Tels seront les questionnements que nous aborderons dans les chapitres 2 et 3.

Dans la gestion de projets nous retrouvons une tendance à intégrer les pratiques de planification et celles de conception. Les approches proposées par (Coudert et al., 2011) et (Abeille et al., 2010) vont dans ce sens. Ils présentent des approches pour coupler les phases de planification des projets avec les phases de conception pour aider les chefs de projet à réduire les risques et incertitudes. Dans ce contexte il sera également intéressant de coupler la gestion de projet aux démarches de conception qui prennent en compte les différentes parties prenantes. Cela nécessite des modèles permettant l'intégration des préférences des parties prenantes tout au long du projet de conception.

#### 1.3.2 Évaluation de l'acceptabilité

Nous proposons d'accompagner les pratiques d'intégration de l'utilisateur (démarches de co-conception) avec une évaluation des probabilités du produit en cours de conception d'être accepté par les utilisateurs et les autres parties prenantes. Cette évaluation doit permettre de gérer les risques associés à un produit non-accepté en aidant les managers et les autres décideurs à trouver des voies pour l'améliorer et l'adapter.

L'introduction d'un nouveau produit est liée à la formation d'opinions d'acceptation ou rejet par les individus. L'effort mis en place par les concepteurs étant très important, leur défi consiste à comprendre et maîtriser les facteurs qui contribuent à l'acceptation.

Les trois temps d'analyse sont : l'acceptabilité (*a priori*), l'acceptation et l'appropriation (ou adoption) (Bobillier-Chaumon et Dubois, 2009 ; Terrade et al., 2009 ; Reerink-boulangier, 2012).



Puisque nos recherches se situent en amont du processus de développement de produits, nous nous intéressons à l'étude de l'acceptabilité.

Nous retrouvons dans la littérature différents modèles représentant les facteurs influençant l'acceptabilité (Davis, 1989 ; Venkatesh et Davis, 2000 ; Venkatesh et al., 2003 ; Caine et al., 2006). Nous donnerons plus de détails sur ces modèles dans le chapitre 4. Cependant, il existe que très peu d'approches permettant d'exploiter ces modèles pour donner un aperçu de l'acceptabilité globale d'un produit ainsi que chacun des facteurs lors de sa conception.

Les modèles trouvés dans la littérature ne fournissent pas une vision globale sur les facteurs d'influence de l'acceptabilité. Ces modèles sont utilisés seulement avec le produit fini mais pas sur des objets intermédiaires pendant le processus de conception. Notre objectif consiste donc à proposer une méthode d'évaluation de l'acceptabilité pouvant aider à la prise de décision pendant le processus de conception. Pour ce faire, la méthode d'évaluation devrait être supportée par un modèle permettant de visualiser un niveau global d'acceptabilité ainsi que des différents facteurs. Nous avons besoin de pouvoir évaluer des changements dans les facteurs pour sélectionner des voies d'amélioration de l'acceptabilité. Les informations pendant les premières phases de la conception sont limitées et incertaines. Nous devons pouvoir associer des sources d'informations différentes (experts et capteurs par exemple).

Sur ces derniers points des techniques issues de l'intelligence artificielle peuvent être utilisées. Nous avons trouvé quelques approches pour évaluer et prédire l'acceptabilité en utilisant ces techniques (Elazouni, Ali et Abdel-Razek, 2005 ; Luo, Su et Lee, 2011). Par exemple, Elazouni, Ali et Abdel-Razek (2005) utilisent les réseaux neuronaux et Luo, Su et Lee (2011) utilisent les Réseaux bayésiens. Cependant, ces propositions requièrent beaucoup de données, ce qui est intéressant pour les projets dont les données des expériences passées sont disponibles mais limitées pour des projets de conception dans lesquels l'information est presque inexistante.

Afin de trouver un outil de modélisation et formalisation de l'évaluation de l'acceptabilité répondant aux différents besoins que nous avons énoncés, nous présenterons dans la section suivante des techniques de modélisation que nous avons évaluées.

## 1.4 Techniques de modélisation des préférences et d'évaluation de l'acceptabilité

Nous avons évalué différentes techniques permettant de modéliser les préférences afin d'identifier la technique appropriée à notre problème de modélisation du niveau d'acceptabilité. Dans cette section nous aborderons le Raisonnement à partir des cas, les méthodes d'évaluation multi-critère et les Réseaux bayésiens.

### 1.4.1 Raisonnement à partir des cas

Le Raisonnement à Partir de Cas est une approche issue de l'intelligence artificielle. Il est orienté vers la résolution de problèmes. Cette approche est basée sur la réutilisation des connaissances acquises au cours des expériences (de conception par exemple). Elle pré-

conise la construction d'une base de retour d'expériences. L'objectif du RàPC est donc de résoudre un nouveau problème (cas cible) à l'aide de la base des cas passés (cas sources - expériences). Un cas est la représentation d'un épisode de résolution d'un problème, généralement exprimé par la description du problème et d'une solution à ce problème, l'expérience peut représenter un événement positif (réussite) ou négatif (échec). Minsky (1975) et puis Schank (1982) ont apporté les bases du Raisonement à Partir des Cas (RàPC). Ce sont Aamodt et Plaza (1994) qui ont formalisé par la suite les quatre étapes du processus de RàPC : recherche, adaptation, révision et capitalisation. Pour un problème donné, nous devons effectuer la recherche des cas les plus proches dans la base de cas. Les cas trouvés peuvent être réutilisés pour résoudre le problème suite à une adaptation. Le résultat est révisé et le cas peut ainsi intégrer la base des cas pour l'enrichir.

Le RàPC permet la capitalisation et la réutilisation d'expériences. Il est adapté aux processus de conception parce qu'il peut aider dans la recherche des solutions lors de la résolution des problèmes. Différentes approches de conception basées sur le raisonnement à partir des cas ont été proposées. Gómez de Silva Garza et Maher (1996) présentent une approche mixte entre la modélisation fonction-structure-comportement (FBS) et le RàPC. D'autres approches ont combiné la méthode TRIZ avec le RàPC (Gao et al., 2006). Romero Bejarano et al. (2014) présentent une approche de RàPC pour la conception des systèmes en utilisant les ontologies et la modélisation des préférences. Nous déduisons que pour l'utilisation du RàPC, la construction des modèles de connaissances sera nécessaire ainsi que des algorithmes d'induction pour la recherche de cas. Ce qui rend ce type d'approche inapproprié pour nos travaux, du moins au début, parce que la création des modèles de cas initiaux peut être difficile sur des projets d'innovation. Cependant, cette approche peut être intéressante pour capitaliser les cas une fois la conception réalisée et les réutiliser par la suite.

### 1.4.2 Méthodes multi-critères

Les méthodes d'évaluation multi-critères permettent d'étudier et d'analyser des problèmes dépendant de plusieurs facteurs. L'acceptabilité étant multi-facteurs, cette technique peut s'avérer intéressante. Ces méthodes se présentent comme une alternative aux méthodes d'optimisation basées sur la définition d'une fonction unique qui regroupe plusieurs critères souvent incommensurables. L'intérêt des méthodes multi-critères est de considérer un ensemble de critères de différentes natures, sans nécessairement les transformer en une fonction unique. Contrairement aux méthodes d'optimisation, ce n'est pas un optimum qui est recherché mais une solution de compromis qui peut prendre diverses formes : choix, affectation ou classement (Roy, 1985).

Parmi les méthodes multi-critères, nous retrouvons par exemple : la théorie de l'utilité multi-attributs (« Multi Attribute Utility Theory » MAUT) qui consiste à calculer une fonction d'utilité par critère (Kim et Song, 2009 ; Sanayei et al., 2008). Le processus d'analyse hiérarchique (« Analytic Hierarchy Process » AHP) décompose le problème en une structure hiérarchisée et permet de calculer les poids (importances) des critères (Saaty et Kearns, 2014). La méthode PROMETHEE (« Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations ») compare les actions deux à deux pour en déduire une liste de préférences (Albadvi, Chaharsooghi et Esfahanipour, 2007 ; Ishizaka et Nemery, 2011). Les méthodes dites de

« classement » permettent de classer les actions dans des catégories prédéfinies (Nemery et Lamboray, 2007 ; Zopounidis et Doumpos, 2002).

La méthode est choisie en fonction des caractéristiques du problème et des objectifs fixés. Nous pouvons traiter des problèmes avec un objectif descriptif, de rangement ou de classement.

Les modèles descriptifs permettent de comprendre le problème sans avoir recours au calcul d'un indice global. Ils peuvent être explicatifs pour montrer les variables les plus représentatives du problème. Ils présentent en général les résultats sous forme graphique permettant une analyse par critère mais ne permettent pas une analyse globale entre les différentes options évaluées.

Les modèles de rangement ont pour objectif d'ordonner les alternatives. Pour cela, une technique d'agrégation (totale ou partielle) doit être employée afin de générer des indicateurs sur la base desquels se fera la comparaison. Le problème de l'agrégation est qu'elle peut présenter un phénomène de compensation dans lequel une performance élevée sur un critère important peut en cacher une déficience dans un autre critère (Guitouni et Martel, 1998).

Les modèles de classement consistent à faire un rangement des alternatives dans des catégories prédéfinies. Pour cela un indice est également calculé mais les critères prennent également en compte des profils dans les critères pour réduire les problèmes liés au phénomène de compensation. Par exemple, les travaux réalisés à l'ERPI autour de l'indice de l'innovation utilisent cette dernière catégorie de méthodes pour classer les entreprises évaluées dans quatre niveaux d'innovation par ordre croissant : Passive, Réactive, Preactive et Proactive (Boly et al., 2014).

Les méthodes multi-critères sont confrontées à plusieurs limites. Pour notre cas leur limite principale est liée au manque de données fiables (incertitude, incomplétude des données). Ces méthodes héritent également des problèmes rencontrés lors d'enquêtes, quand le nombre de critères est important. Les comparaisons et analyses des critères peuvent prendre beaucoup de temps. Les liens entre les différents critères ne sont pas explicites.

### 1.4.3 Réseaux Bayésiens (RB)

Les Réseaux bayésien font partie des techniques d'intelligence artificielle. Ils constituent des cadres de modélisation en maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement, adaptés au recueil et à la représentation des connaissances dans les domaines entachés d'incertitudes.

Les réseaux bayésiens sont des graphes dirigés acycliques représentant les relations probabilistes entre un groupe des variables (Pearl, 1988). Les nœuds avec leurs différents états représentent les variables d'intérêt. Le lien entre deux nœuds représente la dépendance causale et conditionnelle entre eux. La relation entre un nœud et ses parents peut être représentée par la probabilité d'occurrence des états du nœud en fonction des états des nœuds parents. Cette information est représentée par un Tableau de Probabilités Conditionnelles du nœud (TPC).

La figure 1.3 représente un réseau simple comprenant quatre nœuds. Chaque nœud représente une variable binaire qui prend la valeur *vrai* (V) ou *faux* (F). Dans cet exemple, le nœud X2 est le parent des nœuds X3 et X4, le nœud X1 est le parent du nœud X3. Inversement, le nœud X4 est un enfant du nœud X2, et le nœud X3 est un enfant des nœuds

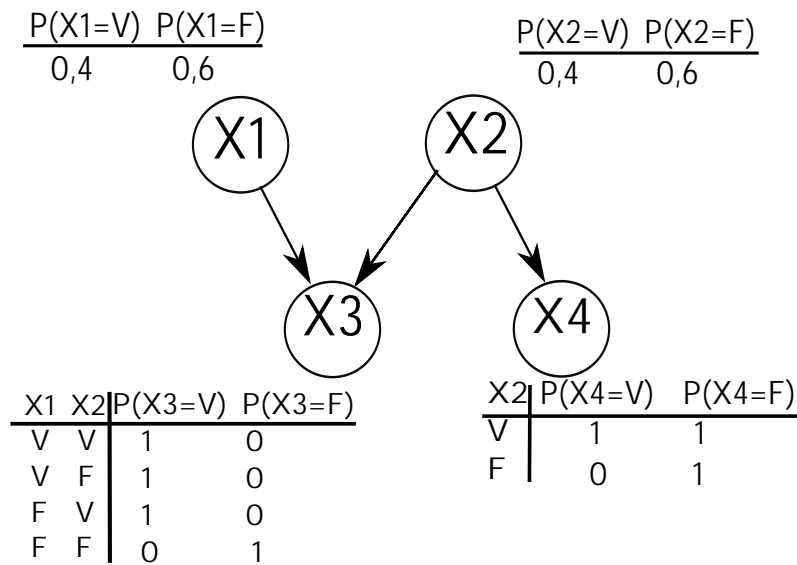


FIGURE 1.3 – Exemple de réseaux bayésiens.

X1 et X2. Le lien provenant du nœud X2 à X4 montre que l'état de nœud X2 affecte l'état du nœud X4. L'information qu'accompagne les nœuds X1 et X2 est la connaissance *a priori*. Les relations de dépendances sont présentées dans les TPC attachés aux nœuds X3 et X4. Le TPC représente comment et avec quel niveau d'influence les états des nœuds X1 et X2 affectent le nœud X3 ainsi que la relation entre les nœuds X2 et X4.

Deux types de raisonnement sont possibles avec les RB : le **diagnostic** qui permet à partir de l'observation de la valeur d'un nœud de trouver la cause la plus probable de cet état et la **prédiction** qui permet d'estimer la probabilité d'occurrence d'une observation en fonction des valeurs des autres variables (Jensen et Nielsen, 2007).

Les réseaux bayésiens ont déjà fait preuve d'utilité dans divers domaines d'application. Naïm et al. (2008) ont fait une revue de de ces différents domaines d'applications. Ils sont présentés dans le tableau 1.1 avec leurs objectifs et leurs utilités.

Tableau 1.1 – Domaines d'application des RB.

Domaine	Objectif	Utilité des RB
Santé	Diagnostic et surveillance médicale	Connaissances hétérogènes et requêtes complexes
Industrie	Contrôle et simulation des systèmes	Incertitudes, adaptation selon la situation
Défense	Analyse des données et prise des décisions	Données incomplètes et incertaines
Finance	Évaluation des risques et détection des fraudes	Incertitudes des données, intégration d'expertise
Marketing	Prévision des besoins, Analyse des risques et aide à la décision	Gestion de l'incertain, incomplétude des données, data-mining
Informatique	Sécurité informatique, filtre anti-spam	Représentation de la connaissance, inférence réactive

Tableau 1.2 – Comparaison de réseaux bayésiens avec d'autres techniques, adaptée de (Naim et al., 2008).

	Réseaux Bayésiens			
	Analyse de données	Ontologies, RàPC, SMA	Aide à la décision	Réseaux Bayésiens
Acquisition (incertitude et incomplétude)	++		+	++
Représentation (modélisation liens, visualisation)		++	+	++
Manipulation (évaluation des impacts et changements)	+	+	++	++

#### 1.4.4 Sélection des techniques

Certaines caractéristiques des réseaux bayésiens peuvent être similaires à celles d'autres techniques. Le tableau 1.2 montre une comparaison des avantages et inconvénients des réseaux bayésiens avec d'autres techniques à travers quelques caractéristiques. Chaque technique a un signe + si la caractéristique est remplie et un signe ++ si la technique est la meilleure dans la caractéristique. Les réseaux bayésiens se démarquent pour permettre de travailler avec des données mixtes (issues des bases des données et des experts), pour traiter l'incertitude des données et pour être facilement lisibles. C'est en regardant ces caractéristiques que nous avons orienté notre choix vers l'utilisation des réseaux bayésiens comme technique de modélisation pour la démarche d'évaluation de l'acceptabilité.

Après avoir évalué les techniques de modélisation des données, nous avons décidé d'utiliser les réseaux bayésiens. En effet, le type d'information qui devra être modélisé lors des

premières phases du processus de conception est trop entaché d'incertitude et d'incomplétude. Les expériences sont limitées pour la conception d'un nouveau produit, ce qui rend difficile la génération des cas pour l'utilisation du RàPC.

L'évaluation de l'acceptabilité apparaît comme étant multi-critère. Le nombre de critères peut être élevé et limiter l'application des techniques comme les techniques d'analyse multi-critères. Les réseaux bayésiens permettent de générer une distribution de probabilité de l'indice évalué, cette information est plus riche que celle fournie par les méthodes multi-critères. D'autre part, les liens entre les différents critères peuvent être explicités de manière graphique avec les réseaux bayésiens. Par ailleurs, nous souhaitons fournir d'une part une évaluation avec un indice et d'autre part, de pouvoir simuler des scénarios de changement de ces critères. Ce dernier point est impossible avec l'utilisation des méthodes multi-critères. C'est donc en prenant en compte ces limites que notre choix s'est orienté vers l'utilisation des réseaux bayésiens. Leurs propriétés d'inférence permettent également de simuler les différents scénarios d'amélioration.

## 1.5 Recherche des actions d'amélioration

Le dernier objectif de nos travaux de recherche après l'évaluation de l'acceptabilité est d'aider les concepteurs dans la recherche et l'évaluation des voies d'amélioration. Il s'agit de pouvoir exploiter le modèle construit par les réseaux bayésiens pour rechercher des possibilités d'amélioration et d'évaluer différents scénarii d'amélioration. Cela afin de permettre aux concepteurs de savoir sur quels critères il faut focaliser leurs efforts d'amélioration.

Le problème d'amélioration de l'acceptabilité formule un problème d'optimisation combinatoire parce qu'il consiste à rechercher parmi un ensemble d'actions la combinaison qui permet d'atteindre le niveau d'acceptabilité souhaité avec un minimum des ressources. Cet objectif nous amène donc à l'identification et l'évaluation des techniques d'optimisation combinatoire.

### 1.5.1 Techniques d'optimisation combinatoire

Pour des problèmes d'optimisation de petite taille, les algorithmes exactes (*EA*) sont capables de résoudre facilement le problème en explorant toutes les combinaisons possibles. Pour des problèmes de grande taille, ces techniques souffrent de complexité algorithmique exponentielle exigeant ainsi une énorme quantité de temps pour trouver la combinaison optimale. Les algorithmes d'optimisation heuristique peuvent surmonter ces inconvénients et trouver des solutions avec un certain niveau d'optimalité (solutions sub-optimales). Cependant, nous n'avons pas trouvé de travaux présentant un algorithme heuristique pour le problème de sélection des meilleures actions d'amélioration de l'acceptabilité, raison pour laquelle notre recherche s'oriente dans ce sens.

Dans sa forme la plus générale, un problème d'optimisation combinatoire (ou d'optimisation discrète) consiste à trouver dans un ensemble discret une solution parmi les meilleurs sous-ensembles (ou solutions) réalisables. La meilleure solution est définie par une fonction objectif. En notation mathématique  $f : \Omega \mapsto \mathfrak{R}$  avec  $x^* \in \Omega$  tel que  $f(x^*) = \min_{x \in \Omega} f(x)$  avec,  $\Omega$  (ou  $S$ ) espace de solutions,  $f$  est la fonction objectif à minimiser, et  $x^*$  est l'optimum.

Le processus de résolution d'un problème d'optimisation peut être résumé par la figure 1.4.

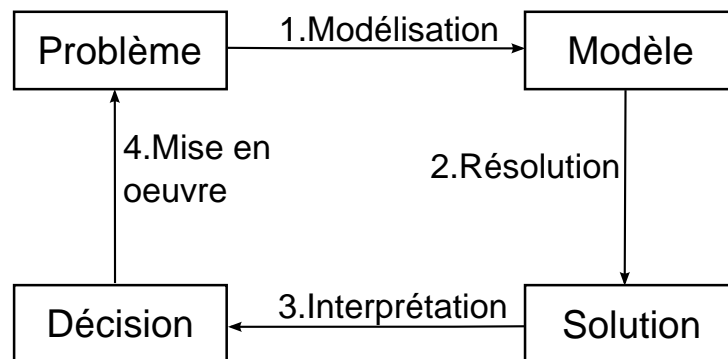


FIGURE 1.4 – Processus de résolution d'un problème d'optimisation.

La démarche démarre par l'analyse du problème qui permet de comprendre le système, de définir les objectifs d'optimisation et de recueillir les données nécessaires. Ensuite le problème est modélisé préférablement par un langage formel en lien avec la méthode d'optimisation à utiliser, cela permet de traduire le problème en paramètres et contraintes. La modélisation permet également de décrire le problème dans un langage facile à comprendre par les différents acteurs impliqués par les résultats de l'optimisation. Le problème est ensuite résolu en mettant en œuvre l'algorithme choisi ou un outil/solveur, les résultats obtenus sont analysés pour vérifier la robustesse et la pertinence. Les résultats sont interprétés et présentés aux acteurs impliqués pour la prise de décision. La dernière étape est la mise en œuvre opérationnelle des options choisies. Cela doit être accompagné d'un suivi des impacts et si nécessaire, de la mise en place des actions correctives qui peuvent donner lieu à la définition d'un nouveau problème.

### 1.5.2 Méthodes d'optimisation

La résolution d'un problème d'optimisation combinatoire est un problème facile en théorie. Il suffit d'essayer toutes les solutions et de comparer leurs valeurs pour en choisir la meilleure. En pratique, l'énumération de toutes les solutions peut s'avérer coûteuse (en termes de ressources nécessaires et de temps). Les méthodes dites exactes utilisent cette stratégie d'exploration de tout l'espace de solution pour trouver une solution optimale. Ces méthodes ne sont efficaces que pour les instances de problèmes de petite taille. D'autre part, les méthodes approchées (heuristiques) permettent en explorant une sous-partie de l'espace de recherche pour trouver une solution optimale. Si les algorithmes exacts arrivent toujours à trouver une solution optimale, ce n'est pas sûr avec les algorithmes approchés. En fonction du problème et du paramétrage ils permettent cependant trouver des solutions proches de l'optimum (voire optimales) avec efficacité de calcul (temps, mémoire...).

Quatre grands paradigmes des méthodes approchées existent :

- Construction
- Recherche locale

- Évolution
- Hybridation

**Construction :** la solution est construite par une succession de choix. Tant que la solution candidate n'est pas une solution optimale, il faut choisir un nouvel élément de solution. L'algorithme glouton (*greedy*) par exemple (Schrijver et al., 1997) est un algorithme qui fait, étape par étape, un choix optimal dans l'espoir que le résultat final soit optimal. Pour certains types de problèmes cette approche permet d'arriver à un optimum global, mais d'une façon générale, c'est une heuristique.

**Recherche locale (ou voisinage) :** une solution initiale est modifiée itérativement puisque l'algorithme part de l'hypothèse que les bonnes solutions partagent des structures similaires. Les meilleures solutions devraient être obtenues après des petites modifications de bonnes solutions. La modification est réalisée en cherchant parmi les solutions proches ou voisines. La recherche tabou (Glover, 1989) et le recuit simulé (*simulated annealing*) (Kirkpatrick, Gelatt et Vecchi, 1983) font partie de cette famille de méthodes. Nous donnerons plus de détails sur le recuit simulé dans la suite de ce chapitre.

**Évolution :** une population de solutions évolue par des opérateurs génétiques (sélection, croisement, mutation). L'algorithme de colonies de fourmis (Colomi, Dorigo et Maffei, 1991) fait partie de cette famille de méthodes. Les algorithmes génétiques (Holland, 1975) appartiennent également à cette famille de méthodes qui s'inspire de la notion de sélection naturelle. Une solution constitue un individu ayant une évaluation (fitness), une combinaison de deux solutions est un croisement et une modification d'une solution est une mutation. La figure 1.5 présente un aperçu du fonctionnement d'un algorithme génétique. Une population initiale (ensemble de solutions) est créée de façon aléatoire. Ensuite les solutions sont classées en fonction de leur performance par rapport aux objectifs d'optimisation. Parmi les meilleures solutions les parents sont choisis et des combinaisons (mutation, croisement...) des solutions sont faites pour générer une nouvelle population (enfants) et le processus se répète (la nouvelle population est évaluée et classée).

**Hybridation :** la dernière famille des méthodes est en réalité un mélange des approches précédentes. Cela peut être par exemple l'exploitation de la recherche locale dans un algorithme génétique pour la population initiale ou pour la mutation. Les algorithmes dans les catégories de recherche locale et évolution sont généralement des algorithmes d'optimisation sans contraintes ce qui est une des faiblesses de ces techniques. Cependant, avec des approches hybrides, nous pouvons utiliser différentes techniques pour gérer les contraintes et garantir la faisabilité de la solution. L'approche la plus populaire est l'utilisation d'une fonction de pénalité avec laquelle la fonction objective est pénalisée pour chaque violation des contraintes. Même si les fonctions de pénalité statiques existent de plus en plus leur utilisation évolue vers des fonctions dynamiques qui changent pendant l'optimisation (Michalewicz et Schoenauer, 1996 ; Ben Hamida et Schoenauer, 2000).



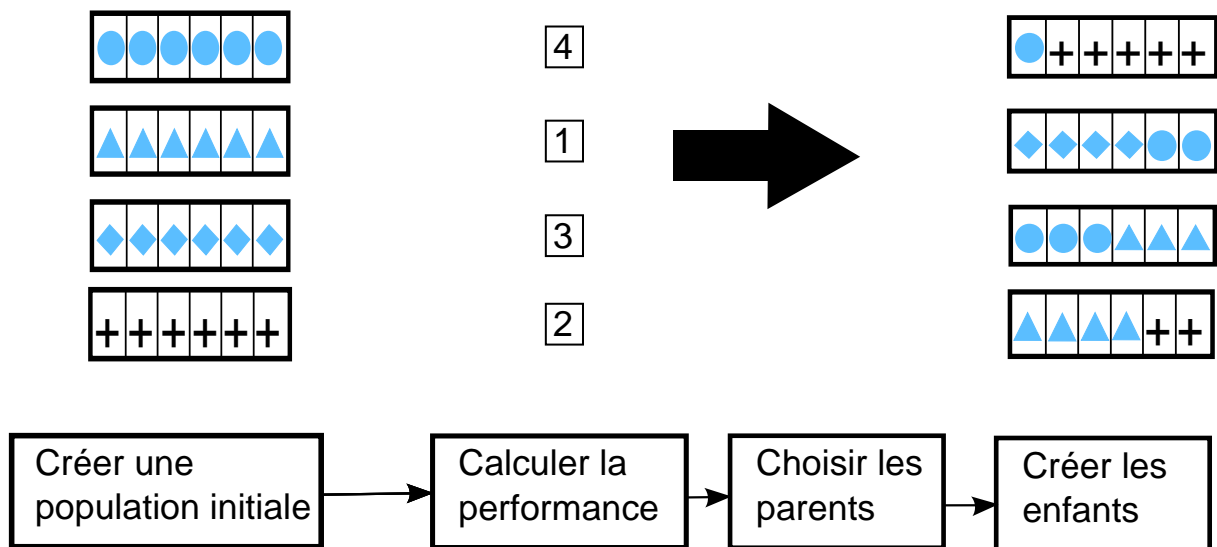


FIGURE 1.5 – Principe de fonctionnement d'un algorithme génétique.

### 1.5.3 Sélection des méthodes

Il n'existe pas d'approche précise pour déterminer quelle méthode choisir pour un problème d'optimisation donné. Essayer plusieurs méthodes ou une méthode avec différents paramètres peut s'avérer nécessaire. En 1997 Wolpert et Macready (1997) ont démontré par leur « No Free Lunch Theorem » que sur toutes les fonctions de coût possibles dans un problème donné, tous les algorithmes d'optimisation ont des performances équivalentes avec un temps d'exécution fini. C'est à dire qu'il n'existe pas un algorithme d'optimisation meilleur que les autres. La sélection de la méthode doit se faire alors par l'analyse du problème et du modèle construit, par la similarité du modèle avec l'implémentation de l'algorithme, le type de réponse recherchée (exacte, approchée, rapide, lente) ainsi que d'autres facteurs.

L'analyse du problème d'amélioration de l'acceptabilité formule un problème d'optimisation combinatoire. Dans ce modèle du problème, la notion de voisinage est facilement identifiable (génération du voisinage de solutions). Nous avons donc évalué l'implémentation des différentes méthodes d'optimisation et avons choisi le recuit simulé par la facilité d'implémenter le voisinage dans l'algorithme. Nous expliquerons le fonctionnement du recuit simulé dans le chapitre 5.

## 1.6 Domaine de la santé : terrain d'application en génie industriel

Dans cette section, nous allons présenter des travaux en génie industriel appliqués au domaine de la santé. Le domaine de la santé évolue dans un environnement complexe avec des changements importants. La complexité des systèmes de santé est située autant au niveau de leur structure interne (sous-systèmes opérationnel et décisionnel) qu'au niveau de leurs interactions avec l'environnement institutionnel, législatif et sociétal.

### 1.6.1 Sous-système opérationnel : similitudes et spécificités avec le secteur industriel

Le processus opérationnel qui est la prise en charge des malades peut être assimilé à un processus de production de « soins » et de services (Rakotondranaivo, Grandhaye et Guillemin, 2006). Ce processus est comparable à un processus industriel du fait de l'enchaînement de plusieurs activités, « la chaîne de soins », pour permettre une bonne prise en charge des patients. Les processus supports font intervenir des métiers très différents comme la pharmacie, la radiologie, les laboratoires d'analyse (qui peuvent être assimilés à des Petites et moyennes entreprises) et les activités logistiques (transport, blanchisserie, restauration, achats...). Du fait de cette similitude nous constatons que la majorité des travaux de la communauté du génie industriel se focalisent dans les problèmes de management, de planification, de logistique et de configuration des ressources (Young et al., 2004 ; Charfeddine, Augusto et Montreuil, 2010 ; lung et al., 2012 ; Di Mascolo et Gouin, 2013 ; Huet et al., 2013). Le groupe de travail Gestion et ingénierie des systèmes hospitaliers « GISEH » au sein de la communauté GDR MACS regroupe les chercheurs intéressés par le transfert des recherches du génie industriel vers le domaine de la santé.

Malgré les similitudes avec les systèmes industriels énoncés plus haut, les spécificités sont nombreuses : l'omniprésence des facteurs humains comme les comportements des malades et des opérateurs, qui ne sont ni prévisibles, ni maîtrisables, les activités urgentes non planifiables, le malade à la fois client-usager et co-producteur de ses soins (Rakotondranaivo, Grandhaye et Guillemin, 2006 ; Arbelaez-garces, Rakotondranaivo et Bonjour, 2014). Ce qui rajoute des contraintes supplémentaires aux solutions apportées par les chercheurs et les industriels.

### 1.6.2 Sous système de décision

Contrairement au secteur industriel où le corps administratif organise et pilote les activités opérationnelles, il existe une absence de ligne hiérarchique claire et unique entre le sommet décisionnel et les centres opérationnels. On parle de pouvoir « bicéphale », celui du corps administratif et celui des professionnels de santé. Le corps administratif doit rendre compte auprès des tutelles et des financeurs de l'efficacité de sa structure sans un réel pouvoir envers les centres opérationnels. Les professionnels de santé (notamment les médecins) ont un pouvoir décisionnel au sein de la Commission Médicale d'Établissement (CME) mais se trouvent également au niveau opérationnel en disposant d'une indépendance dans leur choix d'intervention (Rakotondranaivo, Grandhaye et Guillemin, 2006 ; Arbelaez-garces, Rakotondranaivo et Bonjour, 2014). Lettieri, Bartoli et Masella (2013) soulignent l'importance de l'opinion des professionnels de santé dans l'acceptation de tout changement.

### 1.6.3 Complexité liée à l'environnement

Le système de santé doit s'adapter voire anticiper l'évolution d'un environnement économique, politique, sociétal et démographique, scientifique et technologique. Les contraintes économiques marquées par la maîtrise des dépenses de santé doivent prendre en compte le vieillissement de la population et la progression des pathologies chroniques nécessitant un

système de prise en charge complexe, coûteux et nécessairement multipartenarial. Ainsi, les attentes des tutelles et des citoyens sont de plus en plus fortes. Les organismes de santé sont contraints d'innover pour satisfaire les impératifs de performances qui deviennent multicritères (Lombrail et al., 1999). Les besoins actuels et futurs des acteurs des organisations de santé consistent en des méthodes et outils pour accompagner efficacement ce chantier de restructuration dans un cadre d'approche pluridisciplinaire (Peck, Nightingale et Kim, 2010).

Ces problèmes peuvent bénéficier des approches globales et systémiques pour la conception de nouvelles organisations. Les travaux en télé-médecine par exemple visent à réduire les problèmes liés au manque de spécialistes dans certaines zones (Jean et al., 2011 ; Jean, 2013). Le problème du vieillissement de la population bénéficie de solutions comme le maintien à domicile (Rialle, 2007 ; Segarra Brufau, 2015 ; Lemmouchi et al., 2014). L'innovation et la conception des nouvelles solutions sont au cœur des enjeux des politiques de santé pour garantir le développement et la pérennité des structures.

#### 1.6.4 **Caractéristiques des innovations en santé**

L'innovation en santé fait l'objet d'une abondante littérature professionnelle et scientifique (Greenhalgh et al., 2004 ; Robert et al., 2010). Néanmoins, il n'existe pas de classification cohérente de ces innovations. Nous nous sommes efforcés de dresser une classification et avons identifié quatre classes : innovations organisationnelles, technologiques, des pratiques de soins et managériales.

Les innovations organisationnelles sont au cœur des préoccupations des gestionnaires et des professionnels de santé qui ont mis en place des projets comme les pôles d'activité, la fusion d'établissements ou de services, l'hospitalisation à domicile, les maisons de santé pluridisciplinaires, les réseaux de santé et plus récemment le groupement de coopération sanitaire de moyens.

Les innovations technologiques peuvent être à visée médicale ou organisationnelle. Les technologies médicales regroupent les médicaments, les dispositifs médicaux et les matériels nécessaires pour le diagnostic, le traitement, la réhabilitation et la prévention (Lamarque, 1984). On retrouve deux types d'innovations technologiques en NTIC : NTIC de soins et NTIC de gestion administrative des flux informationnels et matériels. Les NTIC de soins concernent les systèmes experts d'aide au diagnostic, traitement et surveillance des malades. Par exemple, logiciels d'interprétation des électrocardiogrammes, d'aide à la prescription, de surveillance des malades (monitoring) (Ting et al., 2010). Parmi les NTIC de soins, nous trouvons également la télémédecine (téléconsultation, téléradiologie, télésurveillance...) ainsi que « l'hôpital technologique à domicile » pour favoriser le maintien à domicile.

Les innovations des pratiques sont souvent induites par les innovations organisationnelles et technologiques.

Les innovations managériales concernent les nouvelles techniques et méthodes de gestion comme le Programme de médicalisation du système d'information hospitalier (PMSI) et la T2A (tarification à l'activité).

Ces quatre classes d'innovations peuvent aussi être regroupées en deux grandes catégories : les innovations médicales et les innovations des fonctions supports de prise en charge des malades. Les innovations médicales contribuent directement à l'amélioration de la prise

en charge des malades. Elles aident au diagnostic, au traitement, à la réhabilitation et à la prévention. Les innovations de fonctions support ne contribuent pas directement aux soins. Elles concernent en grande partie les innovations technologiques et organisationnelles dans les services comme la pharmacie et la logistique (transport, restauration, blanchisserie...).

Des auteurs comme Goldstein et al. (2013) considèrent que les innovations organisationnelles sont induites par l'introduction des innovations technologiques ou autonomes. Viens-Bitker et Bourguinat (2000) partagent ce constat et affirment que l'innovation, telle que la télémédecine, implique des changements profonds à la fois dans les pratiques médicales et l'organisation des soins mais aussi dans les structures juridiques et les modèles économiques.

### 1.6.5 Freins aux innovations en santé

Le financement, la lourdeur des réglementations, la longue durée nécessaire pour la validation, et les conflits des acteurs sont les principaux freins cités dans la littérature (Birraux et Le Déaut, 2012). L'innovation est souvent source de conflits entre les différents acteurs en raison des préférences et des impacts différents. L'autonomie des professionnels de santé constitue également une barrière à l'introduction et la diffusion des innovations en santé. Les travaux de Barlow, Bayer et Curry (2006) identifient les différentes barrières à l'implémentation des innovations en santé. Leur étude focalisée dans l'introduction de la télé-médecine identifie les facteurs liés au contexte et aux cultures organisationnelles comme clés dans la réussite. Pour eux, le projet d'introduction technologique est un défi plutôt organisationnel (changement organisationnel) que technique. Lettieri, Bartoli et Masella (2013) soulignent également l'importance de coordonner les différents professionnels parce que leur avis lié à leur degré d'indépendance peut avoir un impact important dans la réussite des projets.

Les caractéristiques soulignées dans cette partie affectent directement nos travaux. Nous retrouvons que l'introduction des innovations est d'importance fondamentale pour la pérennité des structures de santé. Cependant les spécificités de ce domaine peuvent rendre difficile la mise en œuvre des approches du génie industriel. Nous devons donc proposer des solutions et des approches en tenant en compte de ces spécificités.

## 1.7 Problématique et contributions de recherche

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté une revue de la littérature couvrant les domaines concernés par nos travaux de recherche. L'innovation est un élément capital pour garantir le développement et la pérennité de toutes structures de soins, notre terrain d'application. Pour cela, nous nous intéressons au processus de conception des nouveaux produits qui doit être amélioré. Les projets de conception des produits présentent des multiples défis pour les concepteurs et les chefs de projet. Nous avons constaté à travers la revue de la littérature, que l'intégration et la prise en compte des différentes parties prenantes dans ce processus favorisent la réussite du projet de conception en minimisant les risques de non acceptation du produit. Leur intégration nécessite des méthodes et des outils spécifiques. Leur application peut être bénéfique pour traiter les problématiques du domaine de la santé. Les contraintes et spécificités de ce domaine nous amènent à questionner leur applicabilité.

Ce sont ces préoccupations que nous aborderons dans les chapitres 2 et 3. Nous proposons de tester les outils disponibles à travers deux expérimentations : la conception d'un produit pour le transfert des personnes âgées (aide au mouvement) et la conception d'un système de maintien à domicile.

Nous avons également constaté dans ce chapitre que les démarches de prise en compte des préférences des parties prenantes, bien qu'elles permettent de réduire les risques de non acceptation du produit, peuvent produire un résultat négatif pour le projet si elles ne sont pas gérées de façon appropriée (Bano et Zowghi, 2015). Nous avons constaté que les managers et concepteurs manquent d'outils leur permettant de mieux estimer les risques de non acceptation et de les contrôler. Nous abordons cette problématique dans le chapitre 4. Notre proposition consiste en une démarche permettant l'évaluation et amélioration du niveau d'acceptabilité de la solution pendant le processus de conception, dès la phase de définition des concepts nouveaux.

Pour la construction de cette démarche, nous devons modéliser les critères influençant l'acceptabilité. L'outil de modélisation devrait permettre d'analyser différents scénarios de changements selon ces critères. Ce qui nous a amené à identifier et à comparer les outils de modélisation correspondant à ces besoins. Notre choix s'est porté vers le formalisme des réseaux bayésiens, qui permet la prédiction et le diagnostic à partir de données incertaines et incomplètes.

Notre dernière préoccupation consiste à aider les concepteurs et les chefs de projet, une fois l'évaluation du niveau d'acceptabilité réalisée, dans l'identification et l'évaluation des actions pour améliorer ce niveau de façon plus rationnelle. Pour cette recherche, nous proposons une approche mixte qui exploite le modèle d'évaluation généré à l'aide des réseaux bayésiens et une méthode d'optimisation combinatoire (le recuit simulé). Nous aborderons cette proposition dans le chapitre 5.

# Chapitre 2

## Co-conception : Intégrer les parties prenantes dans la conception

### Sommaire

---

<b>2.1 Phases d'un processus de conception</b> . . . . .	<b>28</b>
<b>2.2 Vers des approches de co-conception</b> . . . . .	<b>31</b>
2.2.1 Conception de l'expérience d'utilisateur (UX) . . . . .	31
2.2.2 Conception empathique . . . . .	32
2.2.3 Conception centrée utilisateur . . . . .	32
2.2.4 Co-conception . . . . .	33
<b>2.3 Synthèse des outils pour la démarche de co-conception</b> . . . . .	<b>34</b>
2.3.1 Exploration . . . . .	34
2.3.2 Idéation . . . . .	37
2.3.3 Co-création . . . . .	38
2.3.4 Expérimentation . . . . .	39
2.3.5 Pouvoir du prototypage . . . . .	39
<b>2.4 Expérimentation et analyse des outils de co-conception sur une étude de cas</b> . . . . .	<b>43</b>
2.4.1 Description du projet . . . . .	43
2.4.2 Exploration . . . . .	44
2.4.3 Idéation . . . . .	47
2.4.4 Co-création . . . . .	51
2.4.5 Expérimentation . . . . .	52
<b>2.5 Intérêts et limites des approches de co-conception dans le domaine de la santé</b> . . . . .	<b>54</b>

---

Dans le chapitre 1 nous avons constaté l'importance de l'intégration des préférences des différentes parties prenantes dès la phase amont de la conception des produits pour améliorer leur acceptabilité et leur diffusion. L'intégration des préférences lors de la conception peut se faire de façon indirecte si l'on connaît suffisamment les utilisateurs. C'est le cas des stratégies de conception où la « voix des utilisateurs » recueillie est présentée par les services marketing. C'est également les cas des approches de conception utilisant l'analyse conjointe (*conjoint analysis*) pour modéliser les avis des utilisateurs en fonction de leurs niveaux de préférences sur quelques attributs (Faivre et Schwoerer, 2010). Cependant, ces méthodes sont limitées du fait qu'elles ne permettent pas de découvrir des besoins non exprimés par les utilisateurs. Pour faire face à ces limites, les approches de conception montrent un fort intérêt pour l'intégration de l'utilisateur et des autres parties prenantes dans la démarche de conception.

Dans ce chapitre nous montrons comment les préférences et opinions des différentes parties prenantes sont intégrées dans les étapes d'une démarche de conception. Nous présentons des outils supports de chaque étape et nous les testerons pour vérifier leur applicabilité dans le cadre d'un projet de conception dans le domaine de la santé.

## 2.1 Phases d'un processus de conception

Le développement d'un nouveau produit démarre de manière générale par l'identification d'une demande du marché (ou d'un besoin). Dans cette première phase une analyse du marché et des besoins est réalisée. Ensuite le projet est planifié. La phase suivante consiste à définir le produit à concevoir. Dans la phase d'étude de conception, une équipe de préférence pluridisciplinaire explore différentes idées dans un processus itératif jusqu'à ce qu'un produit bien défini est validé par les différentes parties prenantes (Ullman, 1994). Par la suite, le produit rentre dans la phase de développement permettant la définition détaillée et l'industrialisation. Pendant son cycle de vie, le produit peut être soumis à des corrections dans la phase d'assistance technique (Ullman, 1994). La figure 2.1 présente ce processus.

Dans ce travail de recherche, nous sommes intéressés par les premières étapes de la conception des produits plus précisément par la *phase de conception*. Cette phase a été décrite comme un cycle alternant des activités de divergence - convergence et d'analyse - synthèse (Ritchey, 1991). Cross (2008) dans son modèle simplifié du processus de conception distingue quatre phases : Exploration, Génération, Évaluation, et Communication (cf. Figure 2.2).

Dans la première phase (exploration), les concepteurs recueillent l'information relative au problème de conception en utilisant différentes sources d'information ainsi qu'en observant les situations d'usage. Cela leur permet d'avoir une vision globale du problème. La phase de génération consiste à formuler plusieurs idées de solution et à les matérialiser à travers des objets intermédiaires de conception (OIC) (Star et Griesemer, 1989). Les OIC peuvent être des dessins, sketches, fiches idées, maquettes et prototypes. La phase d'évaluation permet de choisir les solutions les plus appropriées parmi celles qui ont été générées. L'analyse fonctionnelle peut être un outil utilisable dans cette phase en définissant les critères d'évaluation. Des allers-retours entre la génération et l'évaluation sont possibles. Des solutions évaluées peuvent être remises en cause et des nouvelles idées vont émerger pour

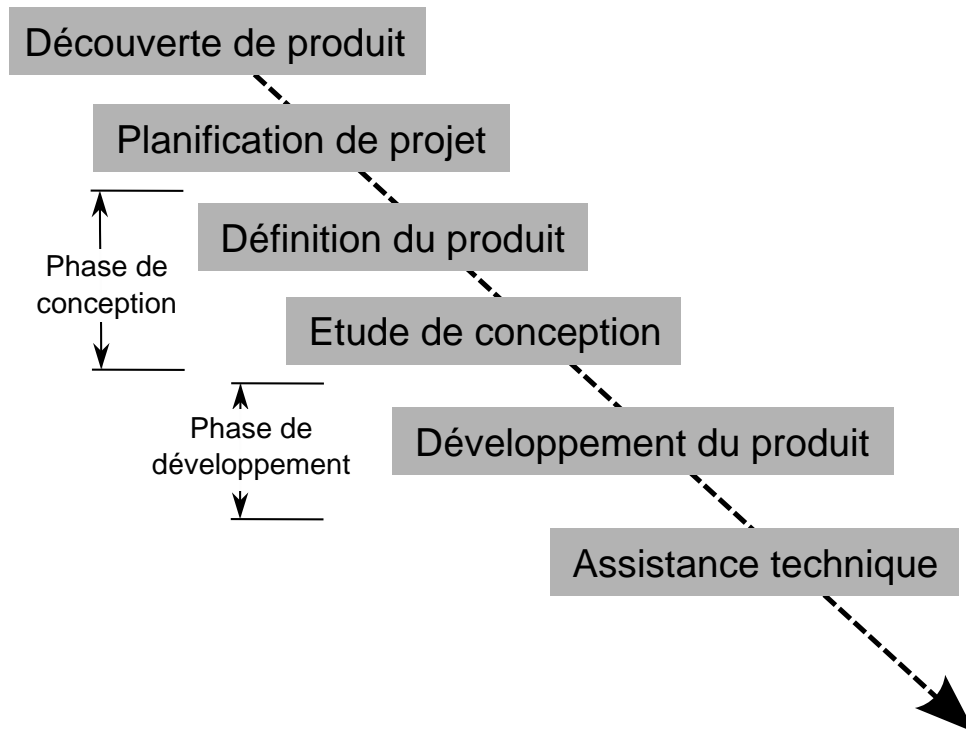


FIGURE 2.1 – Processus de développement des produits, adapté de (Ullman, 1994).

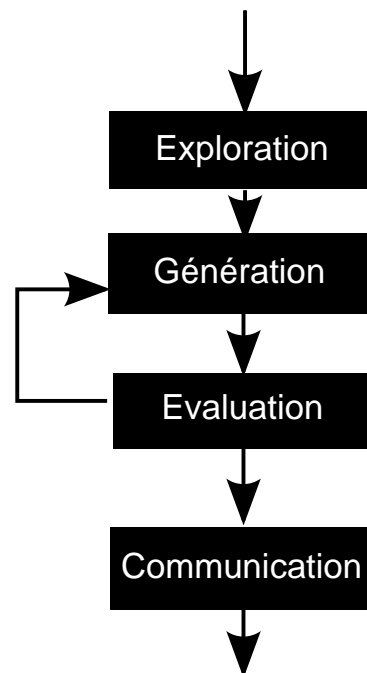


FIGURE 2.2 – Processus simplifié de conception des produits d'après Cross (2008).



être matérialisées jusqu'à l'obtention d'une solution finale. La phase de communication sert à diffuser la solution choisie avec tous ses détails afin de lancer la phase de développement.

Dans nos travaux, nous distinguons quatre phases clés dans un processus de conception (cf. figure 2.3) : exploration, idéation, co-création et expérimentation. Ces phases s'enchaînent itérativement et sont adaptées pour un cycle de conception non linéaire permettant de passer d'une phase à l'autre en fonction de la nature du projet. Brown (2008) ne distingue que les phases d'exploration, idéation et implémentation puisque pour lui une idée qui n'est pas réalisée ne sert à rien puisqu'elle ne peut pas être confrontée aux utilisateurs. Ce concept a déjà été utilisé dans notre équipe de recherche ERPI pour l'analyse des projets en mode Living Lab (Skiba, 2014). Skiba a distingué d'une part, l'idéation comme la génération d'idées et d'autre part, la co-création comme la matérialisation de ces idées (idéalement avec la participation des futurs utilisateurs et les autres parties prenantes). Notre recherche s'appuiera sur ce processus comportant quatre phases.

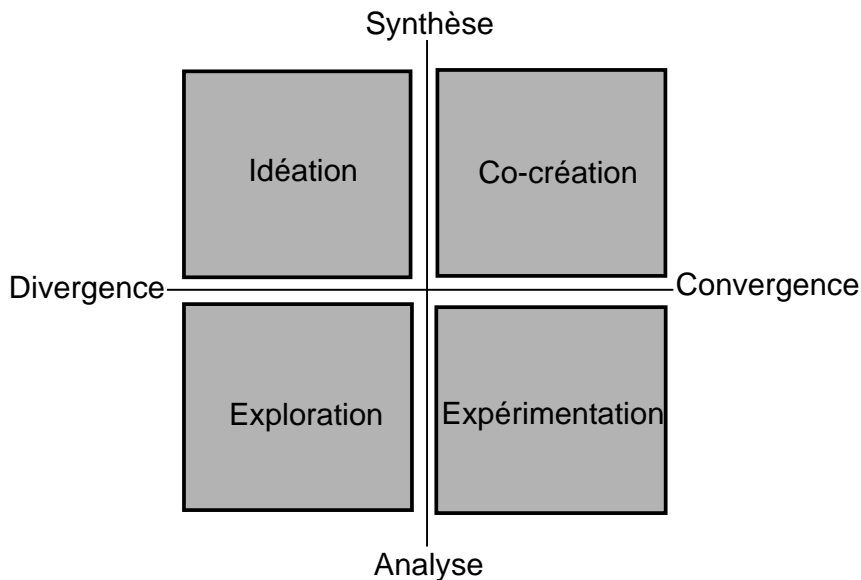


FIGURE 2.3 – Phases du processus de conception, adaptée de (Brown, 2008).

Les quatre phases correspondent à :

**Exploration** : cette phase permet de construire une vision globale du problème, identifier les causes réelles ainsi que les besoins auxquels devraient répondre la solution. Elle permet également de s'inspirer des solutions existantes.

**Idéation** : des techniques de créativité sont utilisées dans cette phase pour générer des concepts et des idées pouvant répondre au problème.

**Co-création** : les idées et concepts sont matérialisés. Dans cette étape, différentes techniques pour matérialiser les idées peuvent être utilisées telles que les maquettes ou les prototypes 3D.

**Expérimentation** : les éléments matérialisés sont utilisés dans cette phase pour les confronter aux futurs utilisateurs et aux autres parties prenantes.

Ce cycle correspond à l'étape de *définition de concepts nouveaux* en Ingénierie Système. Elle est décrite comme : « L'ensemble d'activités techniques de base de l'ingénierie système

dans lesquels l'espace du problème et les besoins des parties prenantes sont étroitement examinés. Cela consiste en une analyse de l'espace du problème et la définition des besoins des parties prenantes pour les services requis. » (SEBoK Authors, 2015).

Prendre en compte les préférences des différentes parties prenantes dans chacune de ces phases peut se faire par leur intégration directe ou indirecte. Plusieurs échelles permettent d'évaluer le degré d'intégration des utilisateurs au processus de conception (Arnstein, 1969 ; Ives et Olson, 1984 ; Krawtchenko, 2004). L'échelle de Krawtchenko (2004) qui comporte cinq niveaux peut être appliquée aux projets de conception.

**Niveau 0 – Livraison :** dans ce niveau, les utilisateurs n'interviennent qu'à la fin du cycle de conception en tant qu'acheteurs du produit.

**Niveau 1 – Observation :** l'utilisateur est pris en compte mais de façon distante. Il n'y a pas de communication directe entre l'entreprise et l'utilisateur. Ce dernier ne détient pas un rôle dans le processus.

**Niveau 2 – Consultation :** l'utilisateur est consulté plusieurs fois pour obtenir des commentaires et opinions sur le produit.

**Niveau 3 – Co-développement :** l'utilisateur prend une part active dans le processus de conception. Il participe en tant que membre de l'équipe de conception, partage des recommandations, propose des solutions et contribue activement dans le développement du nouveau produit.

**Niveau 4 – Apprentissage :** l'utilisateur est totalement responsable de la conception et l'entreprise joue uniquement un rôle de fournisseur c'est-à-dire responsable de la réalisation du produit.

## 2.2 Vers des approches de co-conception

Pour bien réussir l'intégration des utilisateurs dans la conception, différents courants méthodologiques sont apparus, initialement dans le domaine de l'informatique pour le développement de systèmes d'information, mais rapidement utilisés dans la conception de tout type de produits et de services. Depuis les années 60, les chercheurs ont étudié l'influence de leur intégration sur les critères de satisfaction et d'utilisation du système (Ives et Olson, 1984 ; Barki et Hartwick, 1994 ; Bano et Zowghi, 2015).

Dans cette partie nous allons présenter quatre courants : conception de l'expérience d'utilisateur (*user experience design*) (Norman, 1988), conception empathique (*empathic design*) (Leonard et Rayport, 1997), conception centrée utilisateur (*user-centered design*) (Greenbaum et Kyng, 1992) et co-conception (*co-design*) (Albinsson et Forsgren, 2004).

### 2.2.1 Conception de l'expérience d'utilisateur (UX)

La conception de l'expérience d'utilisateur (de l'anglais : *User Experience* (UX)) se réfère à la création des architectures et des modes d'interaction qui impactent la perception de l'utilisateur d'un dispositif ou système (Kujala et al., 2011). L'expérience est liée à toutes les dimensions qui affectent l'interaction avec le produit : comment est-il perçu, appris et utilisé ? (Norman, 1988).

Le principe de ce courant est d'impacter positivement l'expérience de l'utilisateur avec le produit ou système. Pour ce faire, les concepteurs doivent définir préalablement quels éléments constituent une expérience d'utilisateurs réussie et ensuite définir la séquence d'interaction de l'utilisateur avec le système. Des scénarios d'utilisation (ou *storyboards*) sont généralement définis, étudiés et éventuellement testés avec des utilisateurs. Les scénarios évoluent jusqu'à ce que l'expérience souhaitée soit atteinte. Les critères et recommandations de la norme ISO 9241-210 peuvent être utilisés pour évaluer les concepts de solution pendant la conception (ISO, 2010).

### 2.2.2 Conception emphatique

Dans cette approche, l'équipe de conception cherche à se rapprocher des vies et des expériences des utilisateurs potentiels afin d'appliquer ce qu'ils auront appris pendant la conception de la solution. L'objectif de ce courant est d'assurer que le système conçu remplit les besoins des utilisateurs en apportant une attention spéciale à l'utilisabilité. Les possibilités offertes aux parties prenantes de guider la conception restent limitées à la matérialisation des solutions du fait qu'elles sont expertes de leur vécu mais ne le sont pas du métier de concepteur (Leonard et Rayport, 1997). Cette approche s'appuie sur des observations des utilisateurs en contexte réel d'usage (dans l'environnement de l'utilisateur) (Thomas et McDonagh, 2013). Le problème est que les utilisateurs ont tendance à agir différemment quand ils se sentent observés. Pour cela, les périodes d'observations doivent être longues. Une autre technique utilisée dans ce courant consiste à faire vivre aux concepteurs la situation des utilisateurs. C'est très utile pour la conception avec des personnes en situation de handicap permettant aux concepteurs « d'expérimenter » les limitations physiques du handicap (Thomas et McDonagh, 2013). Une série de techniques (journal, observations, enregistrements vidéo) appartenant à ce courant ont été utilisées par une société d'instrumentation médicale avec l'objectif d'assister le développement des produits pour les infirmiers (Jääskö et Mattelmäki, 2003).

### 2.2.3 Conception centrée utilisateur

En général, la conception centrée utilisateur est une philosophie et un processus de conception qui apportent beaucoup d'attention aux besoins, souhaits et limites de l'utilisateur dans toutes les étapes du processus de développement. Ce courant est principalement utilisé pour le développement des logiciels et des applications dans lesquels une interface d'utilisation est développée. Dans cette approche, les concepteurs doivent prévoir le comportement des utilisateurs face à l'interface. Pour valider leur proposition, des tests d'utilisateur doivent être réalisés (Greenbaum et Kyng, 1992). Les principes de la norme ISO 9241-210 relative à l'ergonomie des systèmes d'information peuvent également être utilisés comme guide (ISO, 2010). Cette approche est également focalisée sur la définition précise du cahier de charges du produit ou système qui doit être postérieure à l'analyse exhaustive des besoins des utilisateurs. Initialement les besoins portent sur la nature fonctionnelle du système mais également sur la facilité d'usage et dans certains cas sur des aspects liés aux émotions (Norman et al., 2012).

## Conception participative

La conception participative est une forme de conception centrée-utilisateur. Cette approche tente d'impliquer activement les futurs utilisateurs dans le processus de conception pour garantir que le système conçu répond à leurs besoins et est utilisable. Cette approche fait appel à l'autonomie des utilisateurs ce qui requiert que les concepteurs soient capables de leur déléguer des responsabilités (Sanders et Stappers, 2008). Puisque la communication entre les utilisateurs et les concepteurs est fondamentale dans cette approche, plusieurs techniques sont utilisées. Elles permettent aux utilisateurs de partager leurs idées de solution sans avoir besoin de connaissances techniques très avancées. Nous trouvons par exemple le *storytelling* (les utilisateurs vont raconter une histoire avec des possibilités de solution), les prototypes basiques, les mises en scène ou les outils de prototypage propres au problème (Sanders, Brandt et Binder, 2010). Les séances de conception sont souvent enregistrées permettant ainsi à l'équipe d'analyser et d'interpréter les résultats pour produire la solution finale. Cette approche est devenue très populaire dans le développement des espaces urbains. Elle a été également utilisée dans le domaine de la santé, par exemple, dans l'aménagement du flux des patients dans un centre hospitalier. La figure 2.4 présente un exemple de séance de conception participative au LF2L pour le projet Ombilift (que nous décrirons ultérieurement). Les éléments de prototypage permettent aux participants de donner des avis directement sur des maquettes facilitant ainsi la communication.



FIGURE 2.4 – Participants lors d'une séance de conception participative (source : notre recherche).

### 2.2.4 Co-conception

Le courant de co-conception argumente que les personnes ont tous des idéaux et des perspectives différentes et que tout processus de conception doit prendre cela en compte. Dans ce courant tous les artefacts humains sont conçus avec un but particulier (Simon, 1996). Il est généralement admis que la qualité de la conception augmente si les intérêts des parties prenantes sont pris en compte dans le processus de conception. Le rôle actif de l'utilisateur (et des autres parties prenantes) dans le processus de conception devient donc fon-

damental (Mattelmäki, 2008). Ce courant est considéré comme un développement de la pensée systémique (*systems thinking*) (Churchman, 1971). Une démarche de co-conception considère que la réussite est dépendante de la collaboration entre les personnes ayant des intérêts, perspectives et cultures différents. Le paradigme consiste à utiliser ces différences comme étant des forces constructives dans le processus de conception (Prahalad et Ramaswamy, 2004). Pour ce courant, il n'existe pas une liste pré-définie de parties prenantes puisque leur sélection fait partie du processus de conception (Albinsson, Lind et Forsgren, 2007 ; Agrawal et al., 2012). L'approche reconnaît également le besoin d'un langage commun permettant la communication entre tous les participants (Sanders, Brandt et Binder, 2010). Il est conseillé de vérifier la pertinence des parties prenantes tout au long du processus de conception. Les parties prenantes peuvent changer selon que la solution conçue modifie les relations. A la différence de l'approche participative dans laquelle la participation des parties prenantes est nécessaire, cette approche reconnaît que cette participation active bien que importante n'est pas toujours possible. Dans ce cas l'équipe de conception doit représenter et garantir les intérêts des parties prenantes non présentes lors du processus de conception (Albinsson et Forsgren, 2004). Cette approche a prouvé son efficacité, par exemple, dans la conception d'un système de service après-vente pour la compagnie Volvo et pour un système d'assistance à l'achat pour l'entreprise IKEA (Albinsson et Forsgren, 2004).

## 2.3 Synthèse des outils pour la démarche de co-conception

Un système réussi pouvant générer la satisfaction des utilisateurs est le résultat d'un processus de conception bien mené (Bongard-blanchy, 2013). Les approches de conception que nous avons présentées auparavant placent les parties prenantes (principalement l'utilisateur) au centre du processus de conception, qu'elles participent directement ou qu'elles soient représentées.

Comme nous l'avons présenté dans la section 2.1, la démarche de conception peut se diviser en quatre grandes phases : exploration, idéation, co-création et expérimentation (Brown, 2008). Les approches de conception utilisent des outils variés à cause de la diversité des méthodes de co-conception.

Dans cette section, nous présenterons les outils permettant de mener chaque phase. Ensuite nous décrirons l'expérimentation de certains de ces outils dans le cadre d'un projet de co-conception que nous avons mené concernant un nouveau produit dans le secteur de la santé.

### 2.3.1 Exploration

Dans cette phase, l'objectif est de construire une vision générale du problème, de collecter toute l'information pouvant servir à mieux cibler la problématique, les solutions existantes ainsi que d'identifier et mieux connaître les parties prenantes. Les outils pouvant servir dans cette phase sont ceux permettant le recueil d'informations sur l'utilisateur, le terrain et le sujet. Ils sont recensés dans le tableau 2.1. La plupart de ces outils permettent à l'équipe de conception de bien comprendre l'utilisateur : ses problèmes, ses besoins et ses souhaits. D'autres permettent de s'appropriier le terrain et le sujet en se mettant à la place

de l'utilisateur. La Figure 2.5 par exemple, présente une étudiante de l'ENSGSI (Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes et de l'Innovation) impliquée dans un projet de conception d'un produit destiné aux personnes âgées. Dans l'image, elle teste au Lorraine Fab Living Lab (LFLL) une combinaison prêtée par l'Office Nancéien des Personnes Âgées lui permettant de simuler l'expérience d'une personne âgée et d'expérimenter les problèmes physiques liés au vieillissement.



FIGURE 2.5 – Essai d'une combinaison permettant d'expérimenter les déficiences liées au vieillissement (*source : notre recherche*).

Les deux premiers outils du tableau (interview individuel, focus groupe) se focalisent sur la demande explicite aux utilisateurs de s'exprimer sur le sujet. Ces outils permettent de recueillir de l'information directement auprès des parties prenantes. Cependant, les chercheurs risquent de passer à côté des informations importantes en cas d'oubli. Les outils journal et observation se placent sur une catégorie proche de l'ethnographie : l'information est recueillie par l'observation des gens et du terrain. Les jeux de rôle et les sessions génératives permettent, pour leur part, de recueillir l'information latente (non implicite) qui sera plus difficile à obtenir par d'autres moyens. Enfin les scénarios d'une journée dans la vie et les persona permettent de formaliser l'information de plusieurs observations.

### 2.3. Synthèse des outils pour la démarche de co-conception

Tableau 2.1 – Outils pour l'étape d'exploration, tableau adapté de (Bongard-blanchy, 2013).

Outil	Comment ?	Type des donnés	+Avantages -Inconvénients
Interview individuel	Conversation entre le chercheur et l'utilisateur, guidée ou non par une liste de questions.	Données qualitatives sous forme de rapports verbaux.	+Réponses claires aux questions de recherche. - L'utilisateur seulement s'exprime sur le sujet demandé.
Focus Groupe	Un modérateur guide un groupe d'utilisateurs choisis dans une discussion sur un sujet spécifique.	Données qualitatives sous forme de rapports verbaux, éventuellement des vidéos.	+Points de vue plus divers que l'entretien; dynamique de groupe aidant à révéler des informations tacites. -Constitution délicate du groupe.
Benchmark des solutions existant	Identifier les produits et solutions existantes.	Liste des produits ou services existantes pouvant résoudre le problème	+Facile à communiquer; permet d'identifier les problèmes des solutions existantes. -Nécessite une recherche exhaustive pour couvrir toutes les solutions existantes.
Observation	Suivi des gens dans leur milieu naturel.	Données qualitatives sous forme écrite, avec des photos ou vidéos. Enregistre les actions directes des utilisateurs.	+En environnement réel. - Point de vue subjectif; la présence du chercheur peut biaiser le comportement.
Jeux de rôle	Le chercheur s'immerge dans la situation et enregistre son expérience.	Expériences dans la tête du chercheur pouvant être enregistrées par écrite, photo et vidéo.	+Environnement réel; peut faire émerger des points de vue non décrits par les gens habitués au terrain. -Point de vue subjectif.
Sessions génératives	Les participants reçoivent du matériel et créent des collages ou cartes conceptuelles (mots) sur un sujet donné.	Collages, cartes de mots, cartes conceptuelles, etc.	+Utilisateurs pouvant s'exprimer sur des choses qui ne sont pas possibles avec des mots. -Choix subjectif.
Scénarios d'une journée dans la vie	Identifier les activités journalières. Illustrations et description.	Storyboard avec images qui illustrent la journée type de l'utilisateur	+Facilement accessible, facile à communiquer. - Information de premier degré pouvant être biaisée par le chercheur.
Diagramme d'acteurs	Identifier les acteurs du projet et leurs liens.	Diagramme avec acteurs et liens représentant les flux entre eux (information, ressources)	+Facile à communiquer. - Nécessite une connaissance importante sur le domaine du problème et les acteurs.
Persona	Interprétation de l'information récoltée sur les utilisateurs en forme de personnages fictifs	Représentation des utilisateurs type sous forme d'image et de texte.	+Facilement accessible et communicable. -Effort important pour la création, nécessite une certaine connaissance

### 2.3.2 Idéation

La phase d'idéation permet de générer des idées pouvant amener à une solution au problème de conception et répondre aux besoins des utilisateurs. Le tableau 2.2 présente une liste non exhaustive des outils utilisables pour cette phase.

Tableau 2.2 – Outils pour l'étape d'idéation, tableau adapté de (Bongard-blanchy, 2013).

Outil	Description	+Avantages -Inconvénients
Analyse fonctionnelle	Consiste à rechercher et à caractériser les fonctions attendues par un produit pour satisfaire les besoins de l'utilisateur.	+Facilite la participation de non experts. Identification des fonctions. -Nécessite une implication importante des participants.
ASSIT (TRIZ)	Méthode systématique permettant de trouver des idées en utilisant 5 outils (basé sur TRIZ). Permet d'analyser le problème sous différents angles.	+Facilite la participation de non experts. -Préparation compliquée.
Théorie C-K	Aide à trouver des solutions dans l'espace de connaissances manquantes.	+Facilite la participation de non experts. -Préparation compliquée.
Purge	Vidange des idées. Cherche un maximum d'idées dans la tête des participants en peu de temps.	+Facile à mettre en place ; +dynamique de groupe facilitant l'émergence des idées. -Des idées évidentes qui ne seront certainement pas utiles et dont il faudra s'écarter ; -Requiert du travail pour passer des idées aux concepts.
Brainstorming	Cherche une grande quantité d'idées de la part de tous les participants, les jugements sont interdits.	+Facile à mettre en place ; -Effort requis pour sélectionner les meilleures idées à la fin de la séance.
Body-storming	Même principe que le brainstorming, mais avec le corps. Les concepts et idées sont représentés ou « mis en scène ».	+Facile à mettre en place ; -Effort requis pour sélectionner les meilleures idées à la fin de la séance.
Carte mentale (mind-mapping)	Schéma conceptuel liant des termes du problème.	+Facilité l'association des termes du problème et la structuration. -Difficile de passer des cartes aux concepts.
Carte de tendance	Carte avec images des produits connexes pouvant répondre au problème, regroupés par catégories et axes proposés par les participants.	+Permet de trouver des espaces d'opportunité pour les nouveaux produits. -La recherche des axes ; -l'exhaustivité dans les concepts existants.

Les outils utilisés lors de cette phase partent des principes de la créativité. Leur objectif est de générer un grand nombre d'idées associées au problème. Certaines idées peuvent être retravaillées et évoluer vers des concepts de solution. Avec ASSIT, une méthode dérivée de la théorie de résolution des problèmes TRIZ, une équipe de créatifs applique 5 outils pour trouver de façon systématique de nouvelles solutions. Parmi les stratégies de base nous trouvons des multiplications, additions, suppressions (des éléments du problème) (Horowitz, 1999 ;



Altshuller, Shulyak et Rodman, 1999). Dans la théorie C-K, les idées évoluent dans l'espace de concepts et de connaissances. Les concepts inspirent d'autres concepts (construire sur les idées des autres) qui nécessitent des connaissances pour la mise en place. La recherche de connaissances peut inspirer de nouveaux concepts (Hatchuel et Weil, 2008).

Les outils du tableau ne s'utilisent pas seuls. Généralement plusieurs outils sont combinés dans les séances de créativité. Par exemple, les participants utilisent la purge pour générer un maximum d'idées et éliminer ainsi les idées les plus courantes. Ensuite ils utilisent le brainstorming pour générer de nouvelles idées en utilisant comme point de départ les idées déjà exprimées. La combinaison d'outils permet de réaliser des cycles de divergence-convergence.

### 2.3.3 Co-création

Dans la phase de co-création, les idées et concepts sont matérialisés pour être testés et confrontés aux usages. Dans un projet avec sujet et problématique bien définis, l'étape d'idéation peut être omise en passant directement vers l'étape de co-création. La matérialisation directe des idées permet la génération de nouvelles solutions. Dans cette étape, différentes techniques pour matérialiser les idées peuvent être utilisées telles que les maquettes ou les prototypes 3D. Le tableau 2.3 présente une sélection des outils supportant cette phase.

Tableau 2.3 – Outils pour l'étape de co-création, tableau adapté de (Bongard-blanchy, 2013).

Outil	Description	+Avantages -Inconvénients
Tri par cartes	Un groupe de participants aide à la classification de termes pouvant définir par exemple l'arborescence d'un site web, ou les menus d'une application.	+Facilite la compréhension du langage des utilisateurs et améliore l'utilisabilité. -Orienté interfaces homme-machine.
Mise en scène	Représentation d'un scénario de la situation idéale avec le concept.	+Facilite la compréhension des scénarios d'usage. -Ne donne pas d'idée sur la forme du produit.
Maquette	Représentation basique avec des matériels permettant de donner une forme à l'objet.	+Donne une approximation à la forme de l'objet. -Objet basique non fonctionnel.
Prototypage rapide	Construction des prototypes des concepts évolués avec imprimantes 3D, Arduino, etc.	+Prototype évolué, avec stade avancé de finalisation. -Requiert des compétences spécifiques.
Bibliothèques de matériels	Espaces (physiques ou virtuels) avec différents matériels (jouets, textures, pièces) permettant d'assembler des concepts.	+Facilite la créativité avec association d'autres produits ou matériels. -Difficile de trouver un concept complet.

Les outils présentés dans le tableau permettent de donner forme aux idées développées au cours de la phase précédente. Matérialiser les idées facilite également la communication

(Meinel, Leifer et Plattner, 2011). La matérialisation permet de confronter dans la phase suivante les éléments de solution avec les futurs utilisateurs et autres parties prenantes, ce qui permet d'orienter les choix de conception.

### 2.3.4 Expérimentation

L'expérimentation permet de confronter les concepts de solution aux différentes parties prenantes et particulièrement aux futurs utilisateurs. Les éléments matérialisés sont utilisés dans cette phase. L'expérimentation permet de choisir les concepts les plus adaptés et d'identifier les points à améliorer. Différents types d'expérimentation peuvent être réalisés : test de l'ergonomie du concept, test de sa faisabilité et de son adaptation à l'environnement...

L'expérimentation est souvent suivie par l'équipe de conception. Trois dimensions peuvent être évaluées : cognitive, physiologique et comportementale (Bradley et Lang, 2000). Le tableau 2.4 présente une sélection des outils permettant de collecter des données lors des expérimentations. Ces données sont collectées et analysées pour aider les concepteurs à valider les choix de solution et améliorer le produit.

Le premier type d'outils correspond aux évaluations auto-rapportées. Par exemple, avec un questionnaire, le participant va reporter ses avis et opinions sur les prototypes. Les questionnaires utilisent souvent des échelles sémantiques ou de Likert (Likert, 1932 ; Sinclair, 2005). Dans ce type d'évaluation les informations sont subjectives puisqu'elles dépendent de ce que les participants souhaitent dire.

Le deuxième type d'outils permet d'évaluer le comportement des participants à travers l'observation et l'enregistrement. Ces outils permettent d'évaluer et d'annoter les comportements pendant le test. Cela permet également aux concepteurs de juger si la forme, ou la manière d'utiliser le produit, est comprise et d'identifier les types de mouvements réalisés pour adapter le produit au comportement naturel des utilisateurs (Karapanos et al., 2010). Certaines expressions du visage et postures du corps sont associées à des émotions (frustration par exemple). L'enregistrement permet de les détecter puisqu'elles sont rarement rapportées par les participants, étant des réactions souvent involontaires (Freeman et al., 2000).

D'autre part, nous trouvons les mesures physiologiques qui sont utilisées dans le domaine médical pour évaluer le bon fonctionnement des organes du corps (Bradley et Lang, 2000). Elles peuvent servir d'indicateurs des états émotionnels des utilisateurs. Avec l'eye-tracking, la dilatation de la pupille peut montrer des états de concentration ou de fatigue. Dans le tableau nous n'avons cité que l'eye-tracking, mais il existe divers dispositifs de mesures physiologiques comme l'électroencéphalogramme EEG, l'électrocardiogramme ECG, la réponse électrodermale (Bradley et Lang, 2000). Une liste détaillée peut être trouvée dans (Bongard-blanchy, 2013).

### 2.3.5 Pouvoir du prototypage

Nous voulons souligner l'importance des objets intermédiaires de conception (OIC) non seulement dans la phase d'expérimentation mais tout au long du cycle de co-conception. Nous avons précédemment souligné que la co-conception requiert du dialogue entre les parties prenantes et les concepteurs. Si les utilisateurs ne peuvent pas comprendre le langage de

Tableau 2.4 – Outils pour l'étape d'expérimentation, tableau adapté de (Bongard-blanchy, 2013).

Outil	Description	+Avantages -Inconvénients
Evaluations auto-rapportées	Questionnaires individuels ou par groupes sur les impressions dans l'utilisation du prototype.	+Facile à exploiter. -Permet d'obtenir un seul type d'information.
Eye-Tracking	Enregistre le regard du participant. Permet d'identifier les points d'intérêt de la personne dans le prototype.	+Peu invasif, données continues et précises. -Appareillage dédié, adapté principalement aux interfaces (logiciel ou web).
Face-Tracking	Enregistre les mouvements du visage et permet de détecter des expressions.	+Presque non-invasif; -Gestion de l'équipement.
Patrons de mouvement	Reconnaissance des patrons de mouvement avec ou sans capteurs.	+Les vidéos sont automatiquement annotés. Permet de sortir des analyses détaillées des mouvements. -Équipement spécifique nécessaire.
Expressions vocales	Reconnaissance des changements de la voix, enregistrement vocal.	+La reconnaissance de changements de voix permet de détecter des changements d'émotions. -Difficile d'analyser les enregistrements des expressions vocales.
Observation	Enregistrement vidéo des actions des participants dans un environnement naturel.	+Capture de l'environnement naturel d'usage. -La présence d'enregistreurs vidéo peut engendrer des biais dans le comportement.
Recherche action	Le chercheur s'émerge dans l'environnement naturel en utilisant le dispositif et enregistre ses comportements et expériences.	+Environnement proche du réel. -Point de vue subjectif.



FIGURE 2.6 – Prototype et produit final pour un instrument médical, (source : IDEO <sup>2</sup>).

conception choisi, leur contribution restera limitée. Ce sont souvent les OIC qui permettent aux acteurs impliqués de faire évoluer les idées et de discuter. En effet, Stoeltzlen (2004) décrit l'OIC comme « une représentation intermédiaire d'une idée ou d'un produit générée par un ou plusieurs acteurs, qui devient commune et partagée, discutée, transformée par des acteurs de cultures différentes au sein d'un groupe projet ». Nous pouvons retrouver un exemple de cette situation chez IDEO un cabinet de conseil en conception et innovation. Une équipe de consultants travaillait pour Gyrus ACMI avec l'objectif de développer des instruments d'otorhinolaryngologie. Dans les premières discussions avec un groupe de chirurgiens, un consultant assembla divers objets qui se trouvaient dans le bureau et fabriqua le prototype de la figure 2.6 à gauche matérialisant ainsi une idée ayant émergé du groupe. L'objet devenait immédiatement l'élément de communication dans le groupe, il permettait aux chirurgiens de discuter et de proposer des pistes d'amélioration. Après plusieurs cycles de développement, l'entreprise aboutit au *Diego Powered Dissector System*, représenté dans la figure 2.6 à droite.

Chaque profession comporte des langages de travail pré-établis (par exemple les langages de modélisation, les langages de programmation ou de prototypage) qui nécessitent une formation particulière. Pour la pratique de co-conception il ne doit pas exister des pré-requis pour les participants afin de ne pas limiter leur contribution. Dans ce contexte les métaphores et les scénarios (histoires) sont des éléments de travail qui facilitent la communication, que ce soit pour décrire les situations actuelles (problèmes) ou pour imaginer des scénarios d'amélioration (histoire expliquant comment la situation sera améliorée) (Albinson et Forsgren, 2004).

Les scénarios sont devenus des outils pour prototyper tout type de produits lors de la conception. Puisqu'ils ne requièrent pas de compétences particulières, toutes les parties prenantes peuvent les utiliser et participer activement dans le processus. Ils permettent de se focaliser sur l'expérience, les activités et le contexte en laissant de côté les détails techniques sur lesquels devrait travailler ultérieurement l'équipe de conception (Weber, 2011 ; Bongard-blanchy, 2013).

Le prototypage d'expériences de l'utilisateur (UX) peut également être accompagné par des éléments développés spécifiquement pour le domaine en question, que ce soit pour le développement des produits, expériences ou les activités dans une entreprise. C'est le cas

---

2. <https://www.ideo.com/work/diego-powered-dissector-system>

du Langage Tangible de Modélisation des Processus d'Entreprise (TBPM) qui permet aux managers de prototyper des changements dans leur flux de travail à travers de « cartes » qui modélisent les activités avec des éléments du langage BPMN<sup>3</sup> (Edelman et al., 2009). Sanders et Stappers (2008) présentent les activités d'une visite chez le médecin : la prise de rendez-vous, l'arrivée au cabinet, l'attente, le diagnostic, la prise des médicaments, le suivi. Tout peut être amélioré ou conçu avec les différentes parties prenantes (patients, médecins, pharmaciens).

### Les plateformes d'expérimentation

L'exemple de IDEO nous montre qu'il est possible de construire des OIC avec peu de ressources. Cependant, il existe des plateformes permettant la réalisation de prototypes plus aboutis, comme les « Fablabs ». Ballon, Pierson et Delaere (2005) ont défini une typologie de plateformes de test et d'expérimentation en fonction de l'état d'avancement du projet et de l'objectif de la phase considérée (cf. Figure 2.7).

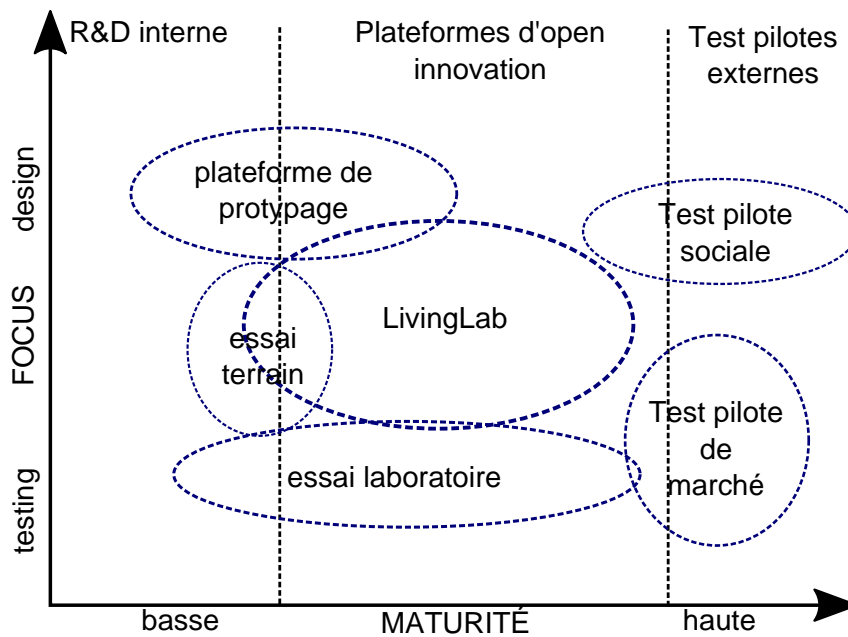


FIGURE 2.7 – Typologie des plateformes de test et expérimentation (source : Ballon, Pierson et Delaere (2005)).

Ils distinguent les plateformes suivantes :

**Plateforme de prototypage** : espaces utilisés avant la production en masse, équipés d'éléments nécessaires pour fabriquer des maquettes et prototypes fonctionnels du produit. Nous retrouvons dans cette catégorie les laboratoires de fabrication (FabLab).

**Testbed (essai laboratoire)** : laboratoire utilisé pour tester des nouveaux produits afin de limiter l'influence et les risques provenant de l'extérieur.

3. Business Process Modeling Notation est un modèle de processus métier et une notation graphique standardisée pour modéliser le savoir-faire d'une organisation à travers l'approche processus.

**Essai sur le terrain** : test de différents aspects (techniques et autres) du nouveau produit dans un environnement réel contrôlé.

**LivingLab** : environnement d'expérimentation dans lequel le nouveau produit prend forme. Les utilisateurs et les autres parties prenantes sont invités à collaborer : soit pour créer, soit pour tester.

**Test pilote de marché** : projet pilote dans lequel le nouveau produit est testé avec un nombre limité d'utilisateurs pour obtenir des données destinées au service marketing et permettant de faire les derniers ajustements sur le produit avant son lancement.

**Test pilote social** : projet pilote dans lequel le nouveau produit est testé dans un environnement réel pour induire un changement social.

## 2.4 Expérimentation et analyse des outils de co-conception sur une étude de cas

Nous avons mené avec un groupe d'étudiants de deuxième année du cycle ingénieur de l'ENSGSI un projet concernant le développement d'un dispositif d'aide au transfert des personnes âgées dépendantes (PAD) en Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD). L'objectif de cette expérimentation a été de vérifier la pertinence des certains outils décrits dans la section précédente lors de leur application dans le secteur de la santé ainsi que d'étudier les éventuelles difficultés rencontrées dans chaque phase du processus de co-conception.

### 2.4.1 Description du projet

Le projet a été proposé par la société Belovia<sup>4</sup> qui se spécialise dans le développement des produits d'assistance au geste à destination des professionnels et particuliers de la « Silver Economie ». Belovia réinvente la relation entre l'aidant et l'aidé en s'appuyant sur des objets facilitateurs de gestes bienveillants et ré-humanisants : des solutions aidant-aidé plus que des machines-robots. La demande initiale du projet dénommé Ombilift a porté sur « la conception d'un appareil permettant la mobilisation des personnes âgées dépendantes et la réduction des Troubles Musculo-Squelettiques (TMS) pour les aides-soignants lors des transferts en EHPAD ».

Ainsi, l'entreprise souhaitait obtenir un concept de solution qu'elle pourrait développer et commercialiser par la suite. Le problème de conception devait prendre en compte les besoins et préférences d'une multiplicité d'acteurs : le couple aidant-aidé (aide-soignant et patient), les directeurs des établissements, l'entreprise et éventuellement d'autres acteurs du marché. Afin de limiter les risques d'un produit inadapté, l'équipe de conception a décidé d'utiliser la démarche de co-conception.

La figure 2.8 présente le déroulement du projet structuré en quatre phases et les outils mis en œuvre. Nous pouvons observer que l'interface entre les différentes phases est floue et que des activités se situent dans cette interface. En effet, la fin d'une phase peut être

---

4. <http://belovia.fr/>

le début d'une autre. Par exemple la phase d'exploration permet de mieux définir le sujet pour débiter la phase d'idéation. Il est également possible d'avoir des allers-retours entre les phases. Par exemple, dans la phase de co-création, un prototype va être testé (phase d'expérimentation) et les résultats vont alimenter la création d'une nouvelle maquette ou prototype (phase de co-création). Nous allons maintenant expliquer chaque phase.

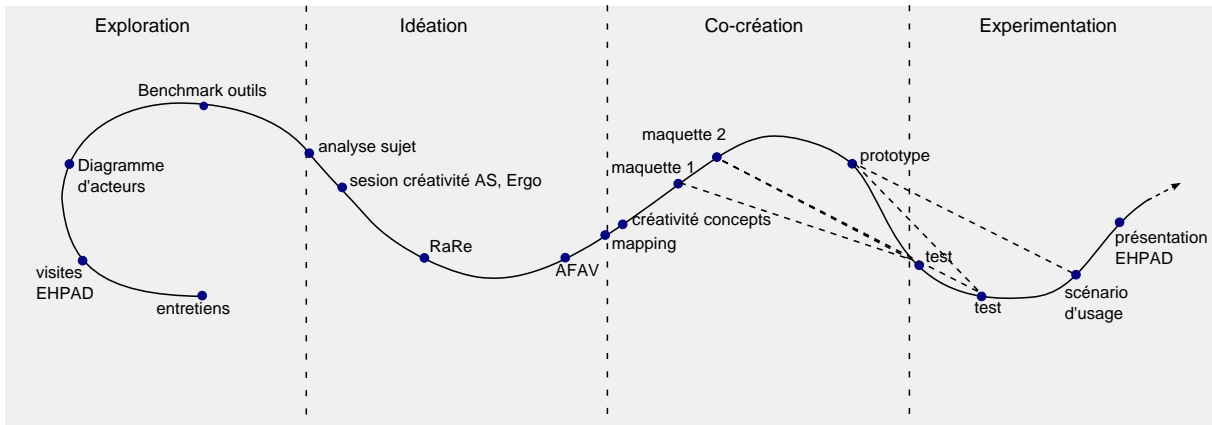


FIGURE 2.8 – Étapes de la démarche de co-conception pour le projet du dispositif de transfert.

## 2.4.2 Exploration

Cette phase d'exploration a pour but de mieux définir le sujet de départ pour orienter la phase d'idéation. Elle devrait également alimenter les réflexions sur les opportunités de développement d'un nouveau produit.

La demande initiale du projet portait sur une thématique large. D'une part, le transfert des personnes peut concerner tous les changements de position du corps : le passage de la position assise à debout, ou celui de la position allongée sur le dos vers le côté. D'autre part, il existe déjà des produits permettant d'accompagner ces types de transferts mais ils ne sont pas utilisés. Une analyse de l'existant permet donc d'évaluer les opportunités de développement et d'identifier des causes de non-utilisation des solutions existantes, sources de problème qu'il faudra éviter de reproduire dans une nouvelle solution. Par exemple, l'utilisation des produits actuels de transfert peuvent engendrer des problèmes de TMS des aides-soignants qui vont rejeter la solution. Une attention particulière doit être portée sur ces utilisateurs lors du projet.

Dans cette phase, plusieurs outils ont été mis en œuvre :

- les interviews, les visites et observations.
- le diagramme d'acteurs
- un benchmark des produits existants.

Au début du projet, différents experts et utilisateurs ont été rencontrés afin d'obtenir de plus amples informations sur leurs besoins et leur travail quotidien, comme des kinésithérapeutes, des ergothérapeutes, des ergonomes, des aides-soignants et des infirmiers. Nous

avons accompagné les entretiens avec deux visites dans un EHPAD de Nancy. Cela a permis d'observer le fonctionnement ainsi que les activités et gestes des aides-soignants et des patients.

Ensuite, le diagramme d'acteurs a été établi (cf. Figure 2.9) afin de repérer d'éventuelles contradictions et incohérences entre les principaux acteurs du projet. Le projet devait répondre à la demande faite par l'entreprise Belovia. D'autres acteurs comme les EHPAD, les aides-soignants ou les personnes âgées dépendantes sont impactés par le projet. En effet, les futurs clients de l'entreprise seront les EHPAD et les aides-soignants. Afin de mieux comprendre les besoins de chaque acteur du projet et les interactions qui existent entre eux, les flux entre les acteurs ont été décrits de manière systémique (cf. Annexe B).

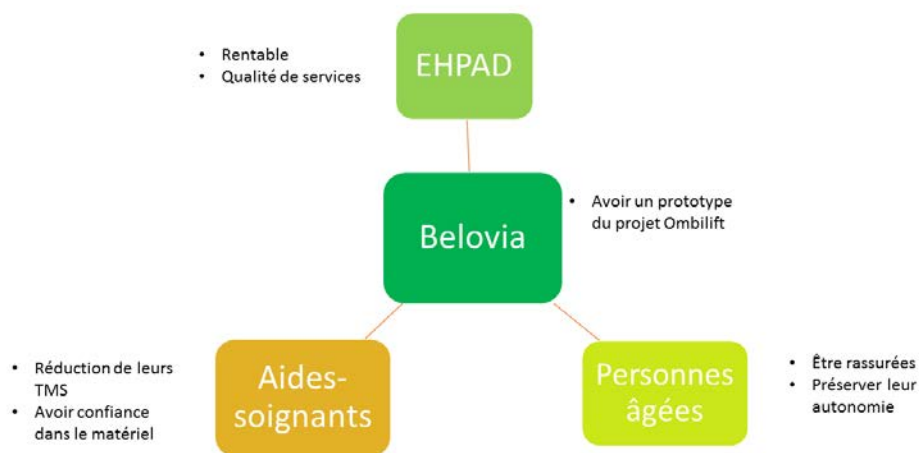


FIGURE 2.9 – Diagramme des acteurs et leurs intérêts dans le projet.

Les attentes et besoins repérés pour les EHPAD sont :

- Réduire le nombre d'arrêt de travail.
- Optimiser le travail des aides-soignants afin de réduire le personnel nécessaire.
- Améliorer le confort et le bien-être des personnes âgées.

Ceux des aides-soignants :

- Avoir confiance dans le matériel. En effet, il est peu utilisé par crainte de chute.
- Réduire leurs efforts physiques
- Réduire le nombre de TMS important chez les aides-soignants.

Enfin, ceux des personnes âgées :

- Avoir un contact direct et humain avec l'aide-soignant pendant la situation de transfert.
- Préserver leur autonomie.
- Être rassurées et aidées pendant les transferts.



## 2.4. Expérimentation et analyse des outils de co-conception sur une étude de cas

Enfin, nous avons réalisé une analyse des produits existants. Les principaux produits sont : la ceinture de transfert, le lève malade, le verticalisateur, le disque, l'échelle de lit et le siège élévateur (cf. figure 2.10). Le tableau 2.5 présente l'analyse de leurs avantages et inconvénients.

Tableau 2.5 – Analyse des produits de transfert existants.

Outils	Inconvénients	Avantages
<b>Ceinture de Transfert</b>	Sécurité moyenne. Provoque TMS chez les AS. Force sur les bras, les jambes du PAD.	Petite, Transportable. Facile à mettre en place. Peu chère.
<b>Lève Malade</b>	Gros, lourd. Stigmatisant (Volume, impression pour la PAD d'être un objet, pas de contrôle pour le PAD). Cher. Encombrant. Vertigineux. Fait perdre l'autonomie (la PAD ne fait pas d'effort). Pas transportable. Peut faire peur (en raison de la hauteur & du volume occupé). Marche électriquement (peut subir des pannes). Mettre la sangle peut être compliqué pour l'AS. Ne permet pas la position debout.	Confortable. Très sécurisant. Sentiment de protection (comme dans un cocon). Permet transport, couché/assis.
<b>Verticalisateur</b>	Cher. Ne permet pas la position couchée.	Sécurisant. Plus d'autonomie que le lève-malade car la PAD est moins assisté. Permet le transfert assis/debout. AS se fait moins mal qu'avec le lève-malade. PAD met la force qu'il souhaite.
<b>Disque</b>	Instabilité. Permet uniquement la rotation debout. Uniquement pour les personnes qui peuvent se mettre debout. Nécessite beaucoup de maintien de l'AS. Degré d'autonomie élevé.	Petit, discret. Transportable. Peu cher. Pas compliqué à mettre en place. Différents cas d'utilisation.
<b>Echelle de lit</b>	Pas d'interaction avec l'AS. S'utilise uniquement sur le lit. La PAD doit avoir de la force dans les bras.	Autonomie de la PAD conservé. Petite. Peu chère.
<b>Siège élévateur</b>	Impulsion de la PAD non coordonnée avec le mouvement du siège. Pas sécurisant, une fois debout. La PAD ne participe pas au mouvement.	Interaction avec l'AS.

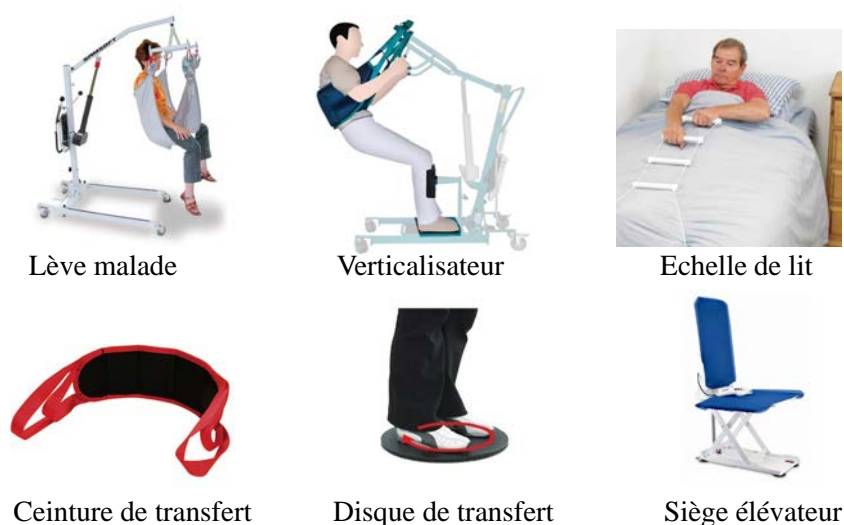


FIGURE 2.10 – Produits de transfert existants.

Nous avons fini la phase d'exploration avec une meilleure compréhension du problème à traiter. Le produit à développer doit faciliter la mobilisation des personnes dépendantes lors de leur transfert de la position assise à debout. Les produits existants sont encombrants et stigmatisants pour le patient. Ils entraînent souvent une perte de temps et des troubles musculo-squelettiques (TMS) pour l'aide-soignant durant leur mise en place. De plus, la personne âgée est « spectatrice de son transfert ». Le but étant de stimuler les capacités mentales et physiques lors du transfert en fonction du niveau de dépendance, les petits dispositifs sont donc privilégiés par les aides-soignants mais également appréciés par les patients qui se sentent davantage en sécurité et plus libres de leurs mouvements. La compréhension du problème et des objectifs associés constitue le point de départ pour la phase de recherche de solutions.

### 2.4.3 Idéation

Deux séances de créativité ont été mises en place durant le projet afin de trouver divers concepts de solution. Une centaine d'idées ont été produites durant ces séances.

Une première séance de créativité a eu lieu avec la participation de l'équipe d'étudiants, d'un ergothérapeute, d'une aide-soignante d'un EHPAD ainsi qu'un autre groupe d'étudiants de l'ENSGSI travaillant sur un autre projet en relation avec les personnes âgées.

Pendant la séance, le premier outil mis en place a été le mind-mapping (carte mentale). Il consiste à noter sur un pense-bête les mots venant à l'esprit des participants à partir du thème, avant de les placer sur un tableau. Chaque membre a expliqué la cause de l'existence des pense-bêtes et de leurs emplacements par rapport aux autres. Ils ont été ensuite regroupés en univers, ou familles. Deux de ces univers ont alors été associés afin de générer des idées sous forme de brainstorming. Les participants ont écrit sur un tableau leurs idées, sous forme de dessins, en les expliquant.

Par la suite, des idées ont été produites avec un raisonnement inverse. Les participants devaient répondre à la question suivante : « comment empêcher le transfert des personnes

## 2.4. Expérimentation et analyse des outils de co-conception sur une étude de cas

âgées dépendantes ? ». Les réponses ont alors été reprises afin de converger à nouveau dans le sujet.

Le dernier outil a été le raisonnement par analogie lors d'un brainstorming. Comme observé en EHPAD, devenir dépendant revient à redevenir enfant. L'enfant est dépendant de ses parents qui l'aident dans ses tâches quotidiennes d'hygiène et de nutrition. Un aide-soignant fait de même avec une personne âgée dépendante. Des images d'enfants avec leur « outil de transfert » ont été présentées aux participants qui ont réagi en donnant des idées de solution.

La phase finale de la séance a été la rédaction des « fiches idées » détaillant les différents concepts afin d'avoir une trace écrite. Cette activité est également une façon de créer un OIC permettant de mieux exprimer le concept. La figure 2.11 présente l'exemple d'une fiche idée créée à la fin de la séance. La rédaction de la fiche permet de se forcer à trouver les justifications du concept, les atouts, les contraintes, entre autres.

Session de créativité  
Nom Demandeur :  
Jour-Mois-Année :  
UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Nom de l'idée : Cerveau à scratch N° de l'idée

Connaissances, besoins ou problématique ayant donné lieu à cette idée

Description de l'idée : Le PAD tient son cerveau qui lui permet de se lever. Il est attaché à lui avec du scratch. De même l'AS tient le cerveau attaché avec le scratch.

Schéma : ① Diagram showing a PAD and an AS with a shared brain. ② Diagram showing the PAD and AS with the brain fixed to the PAD.

Cible Visée : PAD, AS

Valeur ajoutée : → face partagée entre PAD/AS  
→ PAD et AS fixe au cerveau le scratch en cas de chute.

Contraintes : → face des PAD ?

FIGURE 2.11 – Exemple de fiche idée générée dans la séance de créativité (canevas du dispositif « 48h pour innover ® »).

Une deuxième séance de créativité avec uniquement les membres de l'équipe de projet (groupe d'étudiants) a été réalisée. Elle a porté sur le thème « se transférer ». Une multitude d'objets du quotidien a été disposée sur une table. Pendant une heure, chaque participant a écrit sur des pense-bêtes les idées émergentes en s'inspirant des objets disponibles. Une soixantaine de fiches idées ont été rédigées à la fin de cette séance.

Lors de cette séance, l'outil « carte de tendances » ou « mapping » a été également utilisé. Le mapping permet une représentation des objets existants sur le thème. Grâce à cet outil, il a été possible de visualiser ce qui n'existait pas sur le marché, et donc d'identifier les opportunités.

Le mapping a comporté quelques étapes :

- Recenser les objets et leurs images lors de l'analyse de l'existant (benchmark).
- Identifier les axes de positionnement des images. Le groupe a trouvé pendant la séance les deux axes : « l'autonomie » de la personne et « le degré de liberté » du produit. Le deuxième axe a permis de définir les fonctionnalités du produit. Par exemple, le verticalisateur ne permet qu'un type de mouvement puisqu'il n'a qu'un degré de liberté.
- Replacer les produits de transferts recensés par rapport aux axes. Ainsi, plusieurs opportunités ont été identifiées. Il existe beaucoup de produits aidant le transfert des personnes complètement dépendantes et autonomes mais le matériel pour les personnes semi-dépendantes est quasiment absent. La figure 2.12 présente le mapping développé, le point rouge sur la figure représente la place d'une opportunité identifiée pour une idée retenue.



FIGURE 2.12 – Mapping des solutions existantes.

Le mapping a été également utilisé pour évaluer les idées de concepts développés. Des comparaisons entre leur positionnement et ceux des produits existants ont été effectuées. Le mapping permet donc de valider si les idées générées entrent dans les opportunités à exploiter.

Dans la suite de cette phase d'idéation, une analyse fonctionnelle a permis de créer un cahier des charges permettant de valider ou non les concepts imaginés. Cette démarche permet de recenser les fonctions que l'objet doit satisfaire, de les caractériser grâce aux critères et leurs niveaux. Les niveaux des critères ont été définis avec l'entreprise permettant ainsi

d'être au plus près de leurs préférences. Le tableau dans l'annexe A présente les fonctions et les critères définis. La hiérarchisation des fonctions a permis d'identifier les fonctions principales : respecter la réglementation et optimiser l'activité de l'aide-soignant.

Ensuite, les fiches idées des deux séances de créativité ont été rassemblées et une sélection des idées a été réalisée. Finalement, 15 idées ont été conservées et 90 rejetées. Suite à la sélection, elles ont été regroupées selon leurs points communs en cinq familles : la personne âgée et l'aide-soignant reliés, coque de protection, équilibrer la personne âgée, objet permettant le coulissement, objet intégré et objet transformable.

Finalement, une analyse des avantages et inconvénients des idées de chaque famille a été effectuée. C'est ainsi que quatre idées ont été retenues : le tissu élévateur, le cerceau-airbag, l'enveloppe-poulie et le fauteuil-roulant transformable.

### Les quatre idées retenues et évaluées

**Le tissu élévateur :** Un tissu est placé sur le fauteuil. Quand la personne âgée s'assoit sur le siège, le tissu est détendu. Elle (ou l'aide-soignant(e)) appuie sur un bouton si elle a besoin de se lever. Le tissu se tend en s'enroulant et permet d'aider la personne âgée à se lever en lui donnant une impulsion. Cependant, cette idée a déjà été développée par l'entreprise Vertigo.

**L'enveloppe poulie :** Une enveloppe (drap) est glissée sous la personne âgée, sur le fauteuil roulant. Pour mettre le patient sur le lit, l'enveloppe est liée à un système de poulie accroché au plafond. La personne âgée est transportée de la position assise sur le fauteuil roulant, à la position couchée sur le lit. L'inconvénient de cette idée est qu'elle est très stigmatisante car la personne âgée perd toute son autonomie et n'intervient pas dans son mouvement, ce qui est contraire aux objectifs de l'entreprise.

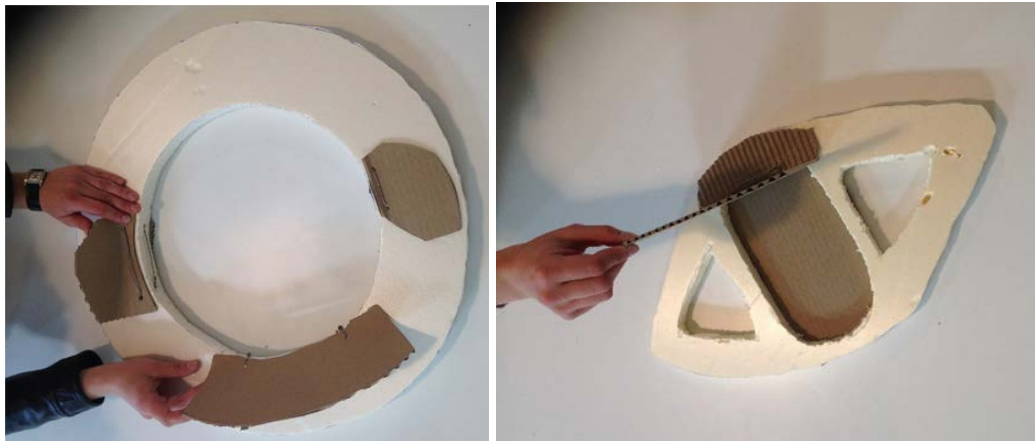
**Le fauteuil roulant transformable :** Le fauteuil roulant se transforme en verticalisateur par un mécanisme au niveau des roues. En actionnant la transformation par un bouton, le siège se lève doucement et permet à la personne âgée de se lever. Inversement, le patient se met dedans et le verticalisateur se transforme à nouveau en fauteuil roulant.

**Le cerceau-airbag :** Pour tout transfert nécessitant de lever la personne âgée, l'aide-soignant(e) placera le ballon sous les fesses de la personne. En actionnant le ballon, celui-ci se gonflera et la personne se lèvera petit à petit. Pour accompagner le mouvement en sécurité, l'aide-soignant(e) et la personne âgée tiendront de part et d'autre un cerceau auquel ils seront reliés par un système de mousquetons. L'idée permet un contact permanent entre la personne âgée et l'aide-soignant et assure une sécurité par le maintien du cerceau et des mousquetons. Elle conserve l'autonomie de la personne âgée car celle-ci devra maintenir le cerceau pour se soulever, permettant ainsi de réduire la présence des troubles musculo-squelettiques de l'aide-soignant. De plus, cet outil permettrait le transfert du patient de la position assise sur le fauteuil roulant à la position debout afin de le mettre sur les toilettes ou le lit, et inversement.

Pour chaque idée, les avantages et inconvénients ont été décrits ainsi que le type de transfert possible. Les idées ont ensuite été placées sur le Mapping par rapport aux axes *degré de liberté* et *autonomie*, et les fonctions de l'analyse fonctionnelle ont été listées pour chacune. Cette démarche de groupe a abouti à la décision de poursuivre l'idée du **cerceau-airbag**.

### 2.4.4 Co-crédation

Une fois le concept du produit choisi et approfondi, sa conception a été engagée. Avoir une première maquette permet de disposer d'une représentation physique du produit afin de le tester et de l'améliorer. Il a été conçu en plusieurs étapes.



(a) Maquette 1.

(b) Maquette 2.

FIGURE 2.13 – Maquettes pour le concept de solution.

Initialement, deux maquettes blanches ont été réalisées (cf. Figure 2.13). Elles ont été conçues avec des planches de polystyrène, du carton et des fixations telles que de la colle ou du fil. Elles permettent de se rendre compte des difficultés de réalisation, de la dimension de l'objet et du choix d'un design adapté. Ainsi, la première remarque a été la forme arrondie du cerceau jugée non adaptée, que ce soit pour le maintien que pour le rangement des accessoires. La seconde remarque a concerné le rangement volumineux des sangles, des ceintures et du ballon dans le cerceau ne permettant pas de conserver une courte distance entre l'aide-soignant(e) et la personne âgée. C'est ainsi que la première maquette (cf. Figure 2.13a) a permis rapidement de faire évoluer le concept vers une deuxième option. Nous avons dans cet exemple une démonstration de l'alternance entre les étapes de co-crédation et expérimentation.

La deuxième maquette (cf. Figure 2.13b) a été réalisée avec une forme plus ovale pour le cerceau et, à son centre, l'emplacement du rangement des sangles et des ceintures. Le ballon n'est donc pas conservé dans le cerceau. Cette deuxième maquette a permis de définir la forme et le dimensionnement du prototype.

Une fois le design du cerceau déterminé, le prototype a été réalisé dans le Lorraine Fab Living Lab. Le procédé choisi a été d'imprimer en trois dimensions le cerceau et d'acheter les ceintures, les sangles et les mousquetons. Cela a nécessité le dimensionnement du cerceau, puis la conception assistée par ordinateur avec l'aide du logiciel Solidworks. Le cerceau étant plus grand que la capacité d'impression de l'imprimante 3D, il a été conçu en plusieurs parties emboîtées et fixées par des vis. En parallèle, une recherche a été lancée pour définir comment réaliser le ballon. Le choix s'est porté sur un coussin gonflable, assez haut pour pouvoir identifier le mouvement qu'il permet de réaliser. Ces dimensions sont plus importantes que celles imaginées lors de la phase d'idédation et permettent donc une meilleure

visualisation du mouvement. Afin de gonfler le coussin, un mini-gonfleur électrique a été acheté.

La réalisation des prototypes en parallèle est en effet une pratique conseillée puisqu'elle permet rapidement de tester différentes parties du prototype sans avoir à réaliser un prototype fini (Dow et al., 2010). Cela permet également d'avancer dans la prise de décision sur les éléments du produit final. Une fois l'impression 3D achevée et les accessoires achetés, le cerceau a été monté et les différentes parties de l'objet réunies. La figure 2.14 présente le modèle du prototype avant l'impression 3D ainsi que le coussin gonflable utilisé.



FIGURE 2.14 – Vu de la modélisation du prototype avec le coussin gonflable.

### 2.4.5 Expérimentation

Comme nous l'avons évoqué précédemment, le passage à cette étape a été fait entre chaque test de la maquette. Les tests ont été effectués de manière à évoquer les situations d'usage. Comme dans le cas de la première maquette, ils n'ont impliqué que l'équipe de conception (étudiants). La deuxième maquette a impliqué également des personnes de l'entreprise pour valider certains choix. Le test du prototype a impliqué pour sa part du personnel d'un EHPAD.

Le prototype développé a d'abord été utilisé pour tester des scénarii d'usage par l'équipe de conception. Une vidéo de l'utilisation du dispositif a été également réalisée permettant une analyse détaillée des mouvements.

Afin d'obtenir des conseils et avis sur le prototype réalisé, un rendez-vous a été organisé dans un EHPAD de Nancy en présence du directeur de l'établissement, de l'infirmière coordinatrice, de l'ergothérapeute ainsi que d'une aide-soignante.

Selon ces experts et futurs utilisateurs, le produit peut permettre le transfert d'une position assise à debout mais également l'aide à la marche. Muni de ces possibilités, ce produit serait attribué à des personnes qui n'ont pas actuellement de matériel. Il se positionnerait sur le marché entre un(e) soignant(e) seul(e) et un verticalisateur. Il soulagerait donc le travail des soignants.

Sollicitant la partie supérieure du corps, les aides-soignants et les personnes âgées ne doivent pas présenter de pathologies aux épaules. Les troubles musculo-squelettiques chez les aides-soignants seront probablement réduits, si la sangle rattachée à la personne âgée



FIGURE 2.15 – Test et démonstration du prototype.

se rétracte au cours du temps afin de suivre son mouvement. En effet, l'aide-soignant(e) pourrait rester droit sans s'incliner pour suivre son mouvement. De plus, la présence du coussin permettant le soulèvement de la personne âgée permettra également cette réduction d'effort.

Il a été vivement recommandé de conserver seulement la ceinture de la personne âgée. En effet, la ceinture de l'aide-soignant(e) n'est pas nécessaire et serait même dangereuse car elle limite les mouvements. Par ailleurs, la ceinture positionnée sur la personne âgée doit être optionnelle en fonction de la pathologie des personnes âgées. Elle doit également avoir une largeur importante afin d'éviter toute lombalgie.

Concernant le coussin, l'idéal serait qu'il soit attribué à chaque patient utilisant le produit. Il serait positionné en permanence sur son fauteuil afin de faciliter la manipulation et d'éviter une étape supplémentaire. Le coussin devra alors présenter des propriétés anti-escarre, comme sur les fauteuils roulants existants.

Ainsi, l'idéal pour les EHPAD serait d'avoir un coussin et une ceinture par personne utilisant le produit, pour des raisons de simplicité d'utilisation et d'hygiène. En revanche, le cerceau pourrait permettre le transfert de plusieurs patients, à condition d'être nettoyé entre chaque utilisation.

Enfin, l'adaptation du produit à domicile a été un point de discussion. Elle dépendra du prix fixé par l'entreprise, car les personnes âgées restant à domicile se procurent souvent leur propre matériel. Cependant, l'aide-soignant(e) peut également se procurer le produit puisqu'il est peu encombrant et facilement transportable.

Avec les retours du personnel de l'EHPAD sur le prototype, l'étape suivante dans le projet consistera à faire soit une expérimentation détaillée avec du personnel soit poursuivre vers le développement du produit.



Nous avons par ailleurs constaté que même si le personnel de l'établissement est ouvert pour tester et donner des retours sur les prototypes, ils ne seront pas prêts à tester le produit en cours de développement avec des patients à cause des éventuels risques de chute avec un produit non homologué.

## 2.5 Intérêts et limites des approches de co-conception dans le domaine de la santé

Dans ce chapitre, nous avons identifié les étapes d'un processus de co-conception ainsi que les outils pouvant supporter le déroulement de chaque étape. Nous avons décidé de ne pas nous arrêter à un simple inventaire des outils existants mais continuer jusqu'à leur mise en œuvre. Grâce à la réalisation d'un projet de conception d'un dispositif d'aide au transfert en EHPAD, nous avons appliqué certains outils. La démarche présentée est tout à fait applicable pour la conception de nouveaux produits dans le domaine de la santé. Cette expérience nous a permis d'analyser les avantages et les inconvénients des outils dans ce domaine.

Nous avons montré l'importance de matérialiser au plus vite et de tester avec les futurs utilisateurs et les autres parties prenantes le nouveau concept. Dans une approche traditionnelle de conception, le plus souvent, le produit est manipulé par un seul utilisateur. Dans les projets en santé, le produit peut devenir un intermédiaire entre une personne soignée ou aidée et le personnel soignant, voire la famille. Les relations deviennent complexes et nécessitent des expérimentations et analyses multiples pour vérifier progressivement les hypothèses et choix de conception, ainsi que pour expliciter les préférences ou les craintes des diverses parties prenantes. Les démarches de co-conception prennent ici tout leur intérêt.

Nous pouvons constater que la continuité entre les phases a été facilitée grâce aux objets intermédiaires de conception. L'évaluation et la sélection des OIC ont été réalisées avec des techniques telles que l'analyse fonctionnelle. Cependant, ces éléments d'évaluation ne prennent en compte que l'aspect fonctionnel, d'autres aspects sont laissés de côté. Dans le chapitre 4 nous allons introduire une démarche d'évaluation qui prend en compte les éléments manquants.

Cependant, il est courant pour les équipes de conception de devoir faire face à des solutions nécessitant une bonne intégration dans l'environnement existant. C'est souvent le cas dans le domaine de santé dans lequel l'introduction des nouvelles technologies génère la réorganisation des structures et l'adaptation des pratiques. Le chapitre 3 présente une démarche pour impliquer les utilisateurs et les autres parties prenantes lors de l'adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile des personnes âgées.

Au cours de l'expérimentation nous avons dû faire face à l'indisponibilité des professionnels de santé pour participer et s'impliquer dans le projet. Les horaires de travail des professionnels sont très contraignants et peuvent rendre difficile leur participation. Nous avons trouvé que quand les séances de travail se déroulent sur leur lieu de travail, leur implication est plus facile, mais il faut restreindre la durée des séances à des durées courtes (10-20 minutes par séance) afin de ne pas perturber leur travail.

Les professionnels de santé ne sont pas habitués à participer à des séances de conception

et ne connaissent pas les outils utilisés. Nous considérons qu'il est important d'expliquer les démarches et outils qui seront utilisées au cours d'une ou plusieurs séances pour que leur participation soit plus effective. Il est également important d'identifier leurs enjeux dans le projet et les motiver. Sinon leur participation ne sera pas totale ou réelle. Par exemple, dans un projet que nous avons développé avec des aides-soignantes, lorsque nous leur avons montré que le produit à concevoir était destiné à faciliter leur travail, leur implication est devenue plus importante.

Le dernier point est le plus critique. Les professionnels de santé peuvent avoir peur de tester avec les patients des prototypes qui n'ont pas d'autorisation de mise sur le marché en raison de la responsabilité médico-juridique engagée. Pour cela, nous avons trouvé qu'il est intéressant de tester d'abord sur les concepteurs et d'enregistrer une vidéo pour la montrer aux personnels de santé et ainsi les rassurer. Il est ensuite possible de leur proposer de tester eux-mêmes le concept et finalement d'évoquer les possibilités de test ou échange avec les patients, tout en respectant les règles de sécurité du domaine.

En conclusion, ce chapitre propose à la fois un état de l'art sur les démarches de co-conception et une application de ces démarches dans le cas d'un produit du domaine de la santé. Cette application a démontré tout l'intérêt de ces démarches dans le cas de conception d'un produit devant être inséré dans un environnement multi-acteurs ou avec de multiples parties prenantes.

# Chapitre 3

## Co-conception d'un dispositif de maintien à domicile

### Sommaire

---

<b>3.1 Contexte du maintien à domicile</b> . . . . .	<b>57</b>
3.1.1 Différents acteurs impliqués . . . . .	58
3.1.2 Problématique . . . . .	61
<b>3.2 Éléments d'une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile</b> . . . . .	<b>62</b>
3.2.1 Identification des activités et besoins pour le maintien à domicile . . . . .	62
3.2.2 Identification des technologies et services . . . . .	64
3.2.3 Classification des technologies en fonction du degré de fragilité . . . . .	64
<b>3.3 Proposition d'une démarche de co-adaptation de l'habitat</b> . . . . .	<b>66</b>
3.3.1 Analyse générale des besoins et des risques . . . . .	67
3.3.2 Détermination du niveau de risque de l'habitat . . . . .	67
3.3.3 Étude des technologies pour répondre aux besoins . . . . .	68
3.3.4 Étape de co-adaptation . . . . .	69
<b>3.4 Expérimentation dans un projet pour le maintien à domicile</b> . . . . .	<b>69</b>
3.4.1 Description du cas . . . . .	70
3.4.2 Analyse des besoins et des risques . . . . .	70
3.4.3 Détermination du niveau de risques de l'habitat . . . . .	70
3.4.4 Étude des solutions technologiques . . . . .	71
3.4.5 Étape de co-adaptation . . . . .	73
<b>3.5 Limites et perspectives</b> . . . . .	<b>76</b>

---

Dans le chapitre 2 nous avons montré comment l'intégration des différentes parties prenantes lors du processus de conception facilite la génération de solutions nouvelles, adaptées à leurs besoins et pouvant ainsi être mieux acceptées. Une démarche de co-conception comme celle que nous avons présentée auparavant (exploration, idéation, co-création et expérimentation) peut être mise en œuvre.

Dans certaines situations, des solutions existantes sont adaptées seulement à un certain moment à leurs utilisateurs (par exemple, une voiture, un habitat) car les utilisateurs ont des capacités psychomotrices qui se sont dégradées, suite au vieillissement, à une maladie ou à un accident. Ce type de situations est moins étudié dans la littérature que les situations de conception ou de re-conception de produits. Il s'agit de rechercher une adaptation appropriée de solutions existantes selon l'état des utilisateurs.

Un domaine qui nécessite une démarche de ce type est celui du maintien à domicile des personnes âgées. Dans un contexte de vieillissement de la population, les solutions d'adaptation de l'habitat des personnes âgées sont nécessaires. Nous allons dans un premier temps faire une introduction brève du contexte du maintien à domicile (MAD) en France. Nous présentons par la suite une démarche que nous avons construite pour permettre d'adapter l'habitat de la personne âgée. Nous illustrons la démarche à l'aide d'une expérimentation réalisée avec un couple de personnes âgées. Ce travail a été réalisé avec la collaboration d'une étudiante de l'Université Polytechnique de Catalogne (UPC) Marta Segarra Brufau lors de son séjour dans notre équipe de recherche pour son projet de fin d'études du Diplôme d'ingénieur industriel (Segarra Brufau, 2015).

## 3.1 Contexte du maintien à domicile

Nous sommes face à un contexte de changement sociodémographique de vieillissement de la population. En 2005, un français sur cinq était âgé de plus de 60 ans. D'ici vingt ans, en 2035, la proportion serait d'un sur trois. Le nombre des seniors devrait connaître une hausse de 80% (Bernard, Hallal et Nicolai, 2013). Ce vieillissement de la population peut être expliqué par l'augmentation de l'espérance de vie et l'arrivée de la génération des « baby-boomers » (personnes nées entre 1946 et 1964) au troisième âge. Ces changements présentent des défis pour la société et nous invitent à chercher des solutions appropriées.

Spécifiquement, les avancées de la domotique peuvent contribuer à répondre au souhait des personnes âgées de rester chez elles plus longtemps. La domotique apporte des solutions pour fournir une aide aux activités de la vie quotidienne et pour assurer la surveillance de la santé.

Le maintien à domicile est préféré au placement dans une maison de retraite, notamment pour les personnes âgées fragiles. Ce sont des personnes âgées autonomes pouvant très rapidement se retrouver en situation de dépendance par exemple à la suite d'une chute (Vellas et al., 2000). Trouver de nouvelles solutions pour permettre aux « aînés » de vivre le plus longtemps possible chez eux constitue donc un défi majeur pour notre société (Picard, 2009).

Selon Ennuyer (2007), le maintien à domicile « est d'abord et avant tout l'expression du désir de nombreuses personnes qui font le choix de demeurer dans leur domicile jusqu'au bout de leur âge et de leur vie, c'est-à-dire qu'elles ont souhaité continuer à vivre et mourir

chez elles. Il est important de situer le maintien à domicile comme l'expression d'une volonté de se maintenir chez soi jusqu'au bout de sa vie ». Le domicile est en effet un lieu de vie et de fin de vie. Généralement c'est un lieu d'intimité, un lieu de rencontre et de convivialité. Cependant, pour la personne âgée seule ou fragile, le domicile peut également devenir un lieu d'isolement, de souffrance, de sensation d'insécurité (Giard et Tinel, 2004a). Ainsi, ce domicile doit être adapté pour répondre aux besoins des différents acteurs impliqués.

### 3.1.1 Différents acteurs impliqués

Les personnes âgées ne sont pas les seules à être affectées par le maintien à domicile. De nombreux acteurs sont également concernés : les aidants, les entreprises (de production de biens et de service), l'État, entre autres (Giard et Tinel, 2004a).

#### Les personnes âgées

Les personnes âgées peuvent présenter des pertes de facultés : auditives (Fozard et Gordon, 2001), visuelles (Kurniawan et al., 2006), cognitives (Etcheverry, 2009) et motrices (Chevalier, Dommes et Marquié, 2008). Elles deviennent par conséquent de moins en moins autonomes.

Pour évaluer leur situation et fournir un appui adéquat, trois types d'approches de mesure se sont développés : mesure de la dépendance des personnes âgées, mesure des soins infirmiers et mesure de régulation économique de la prise en charge. Le dernier type d'approches a été construit dans la perspective de rationaliser la consommation des ressources en s'appuyant sur le concept des Groupes Iso-Ressources (GIR) (Fries, 1990 ; Coutton, 2001). En France, la grille AGGIR (Autonomie Gérontologie Groupes Iso-Ressources) a été construite dans cette logique (Syndicat National de Gérontologie Clinique, 1994). Cette grille permet de mesurer la dépendance à travers l'observation d'un groupe d'activités qu'une personne âgée peut effectuer par elle-même. Dix activités, dites « variables discriminantes », sont évaluées afin de déterminer le niveau d'autonomie de la personne. Selon ce niveau les personnes sont classées en six groupes (GIR 1-6) : du plus dépendant au moins dépendant (Coutton, 2001). Ainsi, nous pouvons classer de manière générale les séniors en fonction de leur degré d'autonomie (Bernard, Hallal et Nicolai, 2013 ; Laperche et al., 2015) :

**Actifs** : ils sont retraités, majoritairement propriétaires, autonomes et indépendants (GIR 6).

**Fragiles** : ils sont retraités, majoritairement propriétaires, indépendants mais avec des limitations fonctionnelles et une baisse des capacités d'adaptation ou d'anticipation. Ils ont des maladies chroniques. C'est une situation dynamique (état instable) qui peut évoluer vers une rupture d'équilibre (GIR 3-5).

**Dépendants ou en perte d'autonomie** : ils sont souvent très âgés, dépendants et très vulnérables. Ils sont pris en charge majoritairement en EHPAD (GIR 1-2).

Les besoins des personnes âgées varient en fonction de leur niveau de dépendance. Les « baby-boomers » par exemple, qui sont généralement des séniors actifs, cherchent le confort et la sécurisation. Les plus dépendants ont besoin de se maintenir dans le meilleur état de santé possible. Les personnes âgées fragiles sont à cheval sur ces deux groupes de séniors.

À cause de leur situation instable, ils souhaitent aménager la maison pour le maintien à domicile : installation de produits domotiques, aménagement de la salle de bain et la cuisine, adaptation de la taille des couloirs, entre autres (Serrière, 2013).

Néanmoins, le degré d'autonomie n'est pas le seul critère pour caractériser une personne âgée. La situation économique, le rapprochement familial et les conditions d'habitat sont d'autres critères liés à l'environnement de la personne qui doivent être pris en compte pour identifier leurs besoins (Bernard, Hallal et Nicolai, 2013).

### Les aidants

La première priorité en matière d'aide à la vie quotidienne est la possibilité d'avoir des professionnels à domicile, qui ne sont pas forcément des professionnels de santé (Giard et Tinel, 2004a). Nous pouvons classer les aides humaines pour le maintien à domicile en trois classes : le personnel de santé (nécessaire en cas d'hospitalisation à domicile), les aides médico-sociales (aide aux gestes de la vie quotidienne tels que s'habiller) et les aides sociales (pour d'autres activités comme le repas ou les relations sociales) (Rumeau et Chirié, 2012).

Dans l'environnement social de la personne âgée, nous pouvons identifier aussi les aidants familiaux, les amis, les voisins, les intervenants professionnels. Chacun de ces acteurs a un univers de règles (ce que chacun peut faire et comment il fait face à certaines situations) et est lié à une certaine division du travail (ce qu'il doit faire). La coordination entre tous ces intervenants est alors indispensable. De l'autre côté, la communication est également essentielle : la famille des personnes âgées a besoin d'avoir un moyen de communication sûr et fiable avec le personnel soignant (Christensen et Grönvall, 2011).

L'assistance dont la personne âgée a besoin n'est pas qu'une aide à la gestion du quotidien et de soins personnels, mais aussi une assistance psychologique, administrative, financière et de stimulation de type cognitif et affectif (Bobillier Chaumon et al., 2014).

Néanmoins, le changement démographique que nous avons déjà commenté, implique deux problèmes à moyen terme (Bontout, Colin et Kerjosse, 2002 ; Kerjosse et Weber, 2003) :

- La forte augmentation du nombre des personnes âgées laisse penser que dans les années à venir la demande d'aides dépassera le nombre d'aidants professionnels.
- L'inversion de la pyramide démographique implique une baisse du nombre de naissances et, par conséquent, les personnes âgées auront, de moins en moins d'enfants qui pourront les aider.

Dans ce contexte, les aides techniques prennent beaucoup d'importance. Les gérontechnologies (technologies destinées aux personnes âgées) ont pour objectif d'augmenter la qualité de vie et le bien-être des personnes âgées fragiles, de favoriser l'aide aux seniors, à leur entourage et au personnel soignant. Elles sont conçues avec l'objectif d'être complémentaires à l'aide humaine et non pour la remplacer (Ruellan, 2010).

D'après les aidants professionnels, il est important que la dépendance sociale ne soit pas entendue comme une subordination ou une soumission. L'accompagnement de la personne âgée doit lui permettre de mobiliser ses propres ressources, réorganiser ses dépendances (Collos et Delomier, 2012) et les technologies doivent faciliter la réalisation des tâches, mais toujours en respectant son autonomie. C'est à dire, s'assurer que la personne âgée ne reçoit que l'aide indispensable pour maintenir le plus longtemps possible son indépendance.

Évaluer le niveau de dépendance et son évolution à travers les activités quotidiennes est donc fondamental pour fournir l'aide adaptée (Le et al., 2007).

### **Les entreprises (de production de biens et de services)**

Dans ce secteur l'écosystème d'acteurs d'entreprises est composé de différents investisseurs institutionnels, de grands groupes industriels comme les opérateurs de télécommunications ou les fournisseurs de solutions de gestion de données (Bernard, Hallal et Nicolai, 2013) et des PME ou TPE (voire des startups) qui innovent pour proposer des produits sur un marché de niche répondant à de nouveaux besoins.

Il existe une divergence entre les opinions des industriels et les professionnels de santé. Les professionnels, d'un côté, souhaitent des solutions simples mais parfaitement adaptées à leur structure. Les industriels, de l'autre côté, assurent que produire sur-mesure est souvent très difficile et contraignant technologiquement (Malakoff Méderic, 2012). Cela est dû en partie au fait que certains industriels ont une vision restreinte de la vieillesse pouvant engendrer des modèles de produits trop simplifiés, mal adaptés aux modes de vie réels de ce public et proposés à des prix qui ne correspondent pas aux réalités des ressources individuelles (Morand et Manceau, 2009).

Les technologies seront utilisées par des personnes âgées qui peuvent avoir une certaine appréhension des dispositifs technologiques et une mémoire restreinte (Eisma et al., 2003). Pour ces raisons, l'usage des dispositifs du maintien à domicile (MAD) doit être facile et intuitif. Pour faciliter leur usage par les aidants et par le personnel médico-social, ces technologies doivent également être ergonomiques et bien adaptés (Siegel, Hochgatterer et Dörner, 2014).

La recherche de l'adéquation entre l'offre des entreprises et les besoins des personnes âgées et leurs aidants est un axe important à considérer qui rejoint la problématique définie au chapitre précédent et l'intérêt des démarches de co-conception de produits.

### **L'État**

L'État doit prendre des mesures adaptées aux changements socio-démographiques. Des initiatives d'organisation de filières comme la « Silver Economy » sont développées dans le but de coordonner toutes les parties prenantes impliquées dans le marché des seniors (Laperche et al., 2015). D'un côté, l'État propose une mobilisation de l'épargne des personnes âgées, pour promouvoir la consommation et activer l'économie sur ce secteur. En effet, elles ont des taux d'épargne élevés en raison de la diminution de leur envie de consommer ainsi qu'une aversion pour le risque (Bernard, Hallal et Nicolai, 2013). D'un autre côté, l'administration peut soutenir financièrement le développement de solutions innovantes ainsi que leur achat par des personnes âgées ayant des difficultés économiques.

En ce qui concerne l'aide financière aux seniors, l'aide apportée aux personnes de 60 ans et plus consiste principalement dans l'amélioration de l'état général de la situation de vie : aides techniques (aménagement de la maison) et aides sociales (aidants soignants) (Bouchayer, Gorgeon et Rozenkier, 2002).

L'État a pour objectif de coordonner et de financer des politiques nationales dans ce

secteur. Un changement de gouvernement peut impliquer un changement de politiques nationales et de financement ce qui génère une incertitude pour les investissements.

### 3.1.2 Problématique

Ayant défini le contexte, les acteurs et leurs interactions, nous cherchons à contribuer au maintien à domicile des personnes âgées, en prenant en compte les besoins de la personne âgée, ainsi que son environnement.

Dans l'analyse du contexte, nous avons dressé les constats suivants :

- Les personnes âgées constituent un groupe très hétérogène avec des besoins variés pour le MAD.
- Les gérontechnologies sont un support essentiel pour répondre aux défis du MAD puisque la demande d'aide dépassera la capacité disponible en nombre d'aidants (familiaux et professionnels).
- Offrir seulement l'aide indispensable est essentiel pour conserver les capacités et l'autonomie des personnes âgées.
- Les démarches de co-conception lors du développement des solutions nouvelles sont nécessaires pour bien répondre aux besoins de toutes les parties prenantes.
- Les incertitudes liées au financement de l'État ne doivent pas interférer dans l'appréciation des solutions proposées.

Pour co-concevoir un « système » de maintien à domicile, plusieurs éléments doivent être abordés. Ce système doit intégrer tous les éléments permettant le maintien à domicile des personnes âgées. La conception d'un tel système comporte des aspects à la fois organisationnels, technologiques, sociaux et financiers.

- Au niveau organisationnel, il faut définir les modes de coordination des structures de soins (SSIAD, HAD, EHPAD, les médecins, les infirmières) ainsi que l'organisation des aides à domicile dans les activités de la vie quotidienne.
- Au niveau financier, il s'agit d'identifier les différentes aides financières existantes, de définir leur mode de sélection selon le profil financier de la personne âgée (ou du couple) ou de proposer de nouveaux modes de financement du MAD.
- Sur le plan social, il s'agit d'intégrer au mieux le besoin de relations sociales de la personne âgée, que ce soit avec ses proches (famille, amis) ou avec de nombreux autres acteurs (comme les voisins, le facteur, le coiffeur, les commerçants ...).
- Sur l'aspect technologique, la conception du système de MAD concerne l'adaptation de l'habitat de la personne âgée pour lui permettre de continuer à vivre en autonomie relative et en sécurité chez elle. Cette adaptation passe par l'intégration de technologies dans l'habitat pour surveiller l'état de la personne âgée, l'aménagement des espaces de vie pour éviter les chutes, entre autres.

L'aspect organisationnel peut être assimilée aux problèmes logistiques, d'ordonnement, de dimensionnement et d'organisation des tournées des aidants. Les travaux de Bashir (2013) et de Matta et al. (2012) abordent ces problématiques. L'aspect financier sort de notre domaine de compétence et donc, du domaine d'intérêt de nos travaux de recherche.



Les opportunités d'apport résident donc dans les aspects technologiques et sociaux. La co-conception de nouvelles technologies impliquant les parties prenantes a été traité dans le chapitre précédent et sera approfondie dans le chapitre suivant. Dans ce chapitre, nous avons choisi de nous focaliser sur la proposition d'une démarche de co-adaptation de l'habitat, impliquant les parties prenantes, avec des aménagements et l'introduction éventuelle de technologies et services pour le maintien à domicile.

La problématique posée n'est pas vraiment de la co-conception puisque des éléments de solutions ou de l'environnement de la solution existent déjà. Dans ces cas, il s'agit d'adapter l'habitat avec l'ensemble des parties prenantes donc de « co-adapter » l'habitat pour le maintien à domicile.

## 3.2 Éléments d'une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile

Nous allons contribuer à répondre à la problématique énoncée ci-dessus en proposant une démarche permettant d'adapter l'habitat en intégrant des solutions technologiques répondant aux besoins et au contexte de la personne âgée.

Pour construire cette démarche nous avons initialement réalisé une analyse des activités de la personne âgée afin d'identifier les besoins et risques pouvant survenir lors de chaque activité. Cette analyse nous a permis de repérer par la suite les technologies existantes pouvant répondre aux besoins ou traiter les risques (prévention ou protection). Ces connaissances sont utiles pour élaborer la démarche de co-adaptation que nous proposons dans la section 3.3.

### 3.2.1 Identification des activités et besoins pour le maintien à domicile

Nous avons identifié les activités journalières des personnes âgées à travers des entretiens et observations de leur quotidien. Les informations ont été formalisées avec la construction de scénarios par pièce de l'habitat et de la méthode de « personas » pour contempler tous les cas possibles (Bongard-blanchy, 2013). Nous avons complété la liste d'actions trouvées à l'aide de la littérature (Katz, 1983 ; Dos Santos et Makdessi, 2010 ; Soullier, 2011 ; Espagnacq, 2012).

La figure 3.1 présente de façon schématique les pièces d'une maison avec les activités et tâches associées que nous avons trouvées lors des analyses.

Pour chaque activité nous avons identifié les besoins y afférents. Ensuite, nous avons étudié les risques associés (chute, vol, désorientation, etc.) ainsi que les besoins engendrés par le traitement de ce risque (prévention, sécurité, autres). Dans le tableau 3.1, nous trouvons un exemple pour la tâche « Se lever : étendu à assis<sup>5</sup> ». Cette tâche répond à un besoin de mobilité (faciliter le mouvement et le déplacement). Elle comporte un risque de chute qui a un besoin de prévention (la chute doit être évitée) et un besoin de sécurité associé (si la chute survient, elle doit être atténuée ou détectée).

---

5. Passer de la position étendue à la position assise.

### 3.2. Éléments d'une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile

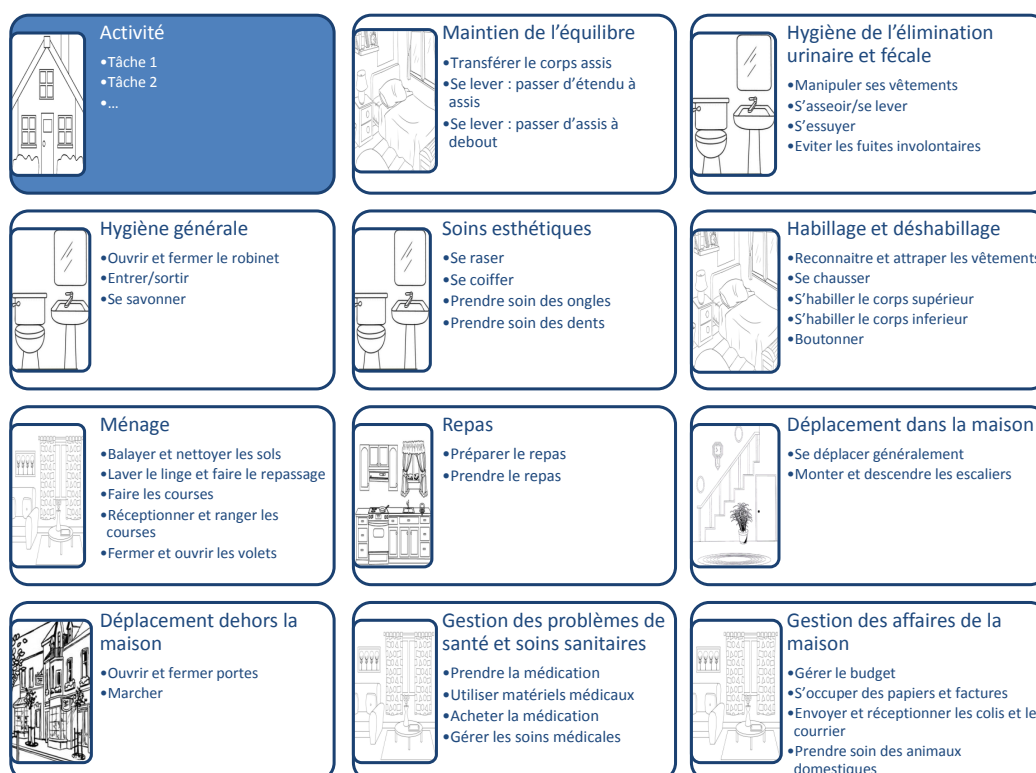


FIGURE 3.1 – Identification des activités et des tâches.

### 3.2. Éléments d'une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile

Tableau 3.1 – Exemple des risques et besoins pour une activité.

Activité	Tâche	Risque	Besoin
Maintien de l'équilibre et de la posture	Transférer le corps assis		Mobilité
			Mobilité
	Se lever : étendu à assis	Chute	Prévention Sécurité
	Se lever : assis à debout		Mobilité

Nous avons vérifié à l'aide de la littérature notre liste de catégories permettant de décrire les besoins. Le tableau 3.2 présente les catégories retenues et les références associées.

#### 3.2.2 Identification des technologies et services

Dans l'étape suivante nous avons identifié les technologies et services existants ou en cours de développement pouvant répondre aux besoins et risques repérés précédemment. Les technologies et services ont été trouvés dans les catalogues et sites web des entreprises du secteur ainsi que dans certains laboratoires de recherche. Le catalogue « du Réseau Européen d'Information sur les aides techniques »<sup>6</sup> a été également consulté. Nous avons utilisé le cadre de la figure 3.2 comme guide. Il montre que nous nous intéressons aux technologies et services pouvant répondre aux besoins et risques des seniors, mais également aux technologies ou services facilitant le travail de leurs aidants.

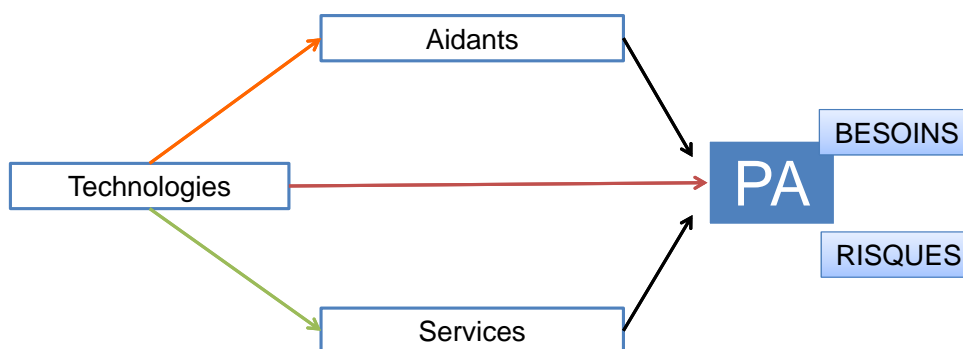


FIGURE 3.2 – Relation entre technologies/services et risques/besoins.

#### 3.2.3 Classification des technologies en fonction du degré de fragilité

Puisque chaque personne âgée peut avoir un niveau différent de besoins en fonction de son niveau de fragilité, nous avons par la suite catégorisé les technologies en fonction du niveau de fragilité. Nous avons utilisé la grille AGGIR qui est la plus utilisée en France et

6. Disponible sur : <http://www.eastin.eu/fr-fr/searches/products/advancedsearch1>

### 3.2. Éléments d'une démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile

Tableau 3.2 – Validation des catégories avec la littérature.

Catégorie	(Malakoff Médéric, 2012)	(Collos et Delormier, 2012)	(Rumeau et Chirré, 2012)	(Rialle, 2007)	(Poulain et al., 2007)	(Menard, 2007)	(Laperche et al., 2015)	(Broussy, 2013)
Mobilité				✓	✓		✓	✓
Confort						✓		
Prévention	✓		✓					✓
Hygiène et soins personnels			✓					
Santé			✓			✓	✓	✓
Sécurité			✓				✓	✓
Lien social et communication		✓		✓			✓	✓
Stimulation			✓		✓		✓	✓
Aide aux aidants						✓		
Service à domicile						✓		✓
Autres								
Catégorie	(Serrière, 2013)	(Reerink-boulangier, 2012)	(Bérardier, 2012)	(Giard et Tinel, 2004b)	(Zimmer, 2012)	(Kerjose, 2003)	(Ruellan, 2010)	
Mobilité	✓		✓			✓	✓	
Confort	✓		✓			✓	✓	
Prévention		✓		✓			✓	
Hygiène et soins personnels	✓		✓			✓	✓	
Santé	✓			✓		✓	✓	
Sécurité	✓			✓			✓	
Lien social et communication	✓			✓	✓		✓	
Stimulation					✓		✓	
Aide aux aidants					✓		✓	
Service à domicile				✓	✓		✓	
Autres								
								Nutrition

connue des professionnels de santé. Elle permet d'évaluer la perte d'autonomie de la personne âgée à partir de l'observation de la réalisation d'un groupe d'activités et en excluant tout ce qui est fait par un aidant. C'est donc à partir des activités non réalisées par la personne âgée qu'une proposition d'aide (produit ou service) est faite.

Dans cette grille d'évaluation, chaque activité peut avoir trois modalités :

- A : fait seul, totalement, habituellement et correctement, spontanément.
- B : fait partiellement, ou non habituellement ou non correctement.
- C : ne fait pas.

En fonction des réponses, un algorithme de calcul détermine un indicateur de dépendance de la personne (GIR) sur 6 niveaux décroissants (Syndicat National de Gérontologie Clinique, 1994). Avec cette classification, deux personnes peuvent avoir le même niveau GIR, mais des difficultés pour la réalisation d'activités différentes. Pour cela, au lieu de nous focaliser sur le niveau global, nous avons décidé d'évaluer chaque activité avec les niveaux de la grille (A,B, et C). De cette façon les recommandations des technologies ou services portent sur les activités sur lesquelles une difficulté existe.

Nous avons synthétisé toutes les informations sous forme de tableau dans l'annexe E. Le tableau 3.3 présente un exemple de classification pour l'activité « Habillage et déshabillage ». Cet exemple montre que pour un même besoin, les technologies recommandées sont différentes en fonction du degré de fragilité.

Tableau 3.3 – Extrait du tableau de classification des technologies par activité, risques et besoins.

Activité	Tâche	Besoin	GIR	Technologie disponible
Habillage et déshabillage	Reconnaître et attraper les vêtements	Stimulation	B C	Détecteurs de couloir parlants, labels
		Mobilité	B C	Porte-habits de manche large
	Se chauffer	Mobilité	B	Chausse-pied de manche longue
			C	Chaussures adaptées
	S'habiller la partie supérieure	Mobilité	B	Vêtements adaptés
			C	
S'habiller la partie inférieure	Mobilité	B	Produits d'assistance permettant d'enfiler les chaussettes et les collants	
		C	Vêtements adaptés	
Boutonner	Mobilité	B	Tire-boutons, crochets permettant de manœuvrier les fermetures éclair	
		C	Vêtements adaptés	

Les espaces vides dans la partie des technologies disponibles permettent d'identifier les technologies manquantes. Cela peut représenter des opportunités de développement de nouvelles solutions pour les entreprises.

### 3.3 Proposition d'une démarche de co-adaptation de l'habitat

En utilisant le tableau développé précédemment nous allons proposer dans cette section une démarche permettant de sélectionner et adapter des technologies et services à l'habitat

de la personne âgée pour permettre son maintien à domicile. Dans notre proposition, l'adaptation de l'habitat implique que la personne âgée, l'aidant naturel et un conseiller travaillent ensemble pour que les solutions sélectionnées soient adaptées aux besoins et risques de la personne âgée.

La démarche proposée comporte 4 étapes (cf. figure 3.3). Nous allons par la suite expliquer chaque étape : analyse générale des besoins et des risques, détermination du niveau de risque de l'habitat, étude des technologies pour répondre aux besoins et étape de co-adaptation.

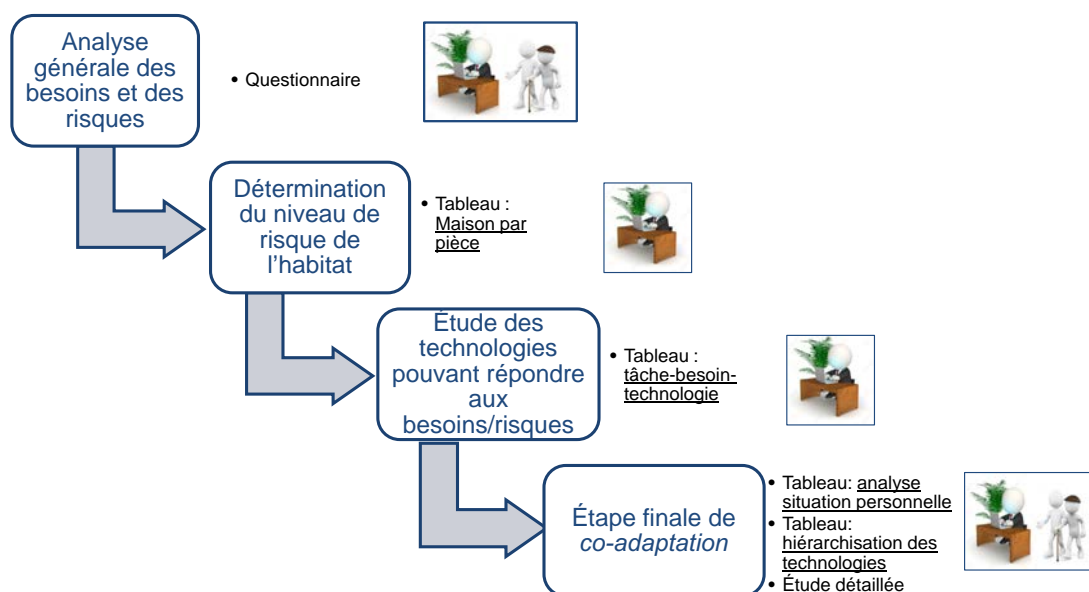


FIGURE 3.3 – Démarche de co-adaptation.

#### 3.3.1 Analyse générale des besoins et des risques

La première étape consiste à évaluer les difficultés des personnes âgées à réaliser les activités de tous les jours. Cela dépend du degré de fragilité de la personne, mais également d'autres facteurs liés aux risques de l'environnement.

Nous avons construit un questionnaire divisé en trois sous parties. Le questionnaire complet se trouve dans l'annexe F. La partie A correspond à une évaluation de la situation de vie de la personne âgée : la situation personnelle, les conditions d'habitat et les caractéristiques du logement. Dans la partie B, nous évaluons la capacité de la personne à réaliser certaines tâches de la vie quotidienne. Les activités et tâches correspondent à celles énoncées dans le tableau d'activités présenté dans la section précédente. Dans la partie C, nous collectons des détails sur les préférences et la situation de la personne âgée.

#### 3.3.2 Détermination du niveau de risque de l'habitat

La deuxième étape consiste à déterminer le niveau de risques liés à la situation actuelle de l'habitat. Pour chaque pièce nous avons défini les aménagements jugés nécessaires. Ils sont listés dans le questionnaire de l'annexe F. Tous ces éléments ont été définis à l'aide de

la littérature et complétés lors de visites et entretiens chez les personnes âgées. Par exemple pour la cuisine nous considérons nécessaires les aménagements présentés dans le tableau 3.4 (Pinto et al., 2000).

Tableau 3.4 – Aménagements nécessaires de la cuisine.

Cuisine	
1	La position des installations (plaques, four, évier, réfrigérateur) permet un accès facile, sûr et bien éclairé.
2	Le sol est antidérapant.
3	La cuisinière est dotée d'un dispositif de sécurité qui coupe le gaz et éteint une plaque électrique.
4	L'éclairage est suffisant et bien orienté.
5	La position centrale de la table permet de s'asseoir à tout moment et offre un point d'appui complémentaire permanent.
6	Au moins 1 prise électrique est disponible tous les 2 mètres le long du mur <sup>7</sup> .

L'analyste utilise l'information collectée avec le questionnaire partie A et des observations lors de la visite. Il analyse les aménagements existants pièce par pièce. En fonction du pourcentage existant, chaque pièce est caractérisée par un niveau de risque. Le tableau 3.5 présente les quatre niveaux possibles et les pourcentages associés. Lors de cette étape, la personne qui réalise l'enquête doit vérifier si ces aménagements sont disponibles dans la pièce.

Tableau 3.5 – Critères de classification selon niveau de risque

Critère de classification	
Pourcentage d'aménagements	Niveau de risque
0-25%	4
26%-50%	3
51%-75%	2
>75%	1

Pour l'exemple de la cuisine, les niveaux de risque seront définis par le tableau 3.6. Le niveau 4 comporte le risque le plus élevé et le niveau 1 celui le moins élevé. Si la cuisine évaluée ne comporte que le sol antidérapant par exemple elle aura un niveau de risque 4, mais si elle comporte 4 aménagements elle aura un niveau de risque 2. Dans une première approche nous avons pris en compte seulement le nombre d'aménagements disponibles, mais pour améliorer l'approche, l'importance de chaque aménagement pour traiter les risques pourrait être pris en compte.

### 3.3.3 Étude des technologies pour répondre aux besoins

Dans la troisième étape, nous déterminons le degré d'autonomie de la personne âgée. Nous analysons l'information collectée avec la partie B du questionnaire. Le questionnaire évalue 14 activités basiques et leurs tâches associées. Avec le tableau nous pouvons évaluer

7. Cette mesure permet d'éviter l'utilisation de rallonges électriques qui sont source de chutes lorsqu'elles traînent sur le sol.

Tableau 3.6 – Niveau de risque de la cuisine en fonction du nombre d'aménagements

Niveau de risque dans la cuisine	
Nombre d'aménagements	Risque
0-1	4
2-3	3
4	2
5-6	1

les tâches sur lesquelles la personne a une difficulté et repérer les technologies existantes. Chaque tâche est examinée en fonction du niveau GIR pour déterminer le niveau de difficulté associée à sa réalisation par la personne. L'aide proposée doit être en concordance avec le niveau de fragilité sachant qu'il faut proposer uniquement l'aide indispensable à la personne âgée pour ne pas créer de dépendances supplémentaires.

Cette étape est réalisée par l'analyste car elle nécessite une recherche exhaustive de solutions. Une fois que nous avons sélectionné les catégories des technologies sur lesquelles des aides peuvent être proposées, il faut repérer par la suite, tous les produits (au moins plusieurs options) qui rentrent dans la catégorie. L'objectif est d'identifier toutes les possibilités pour qu'elles soient discutées dans l'étape suivante avec la personne âgée et son entourage.

### 3.3.4 Étape de co-adaptation

La dernière étape nécessite la participation de toutes les parties prenantes. Dans cette étape nous devons présenter les résultats de l'analyse à la personne âgée et son entourage (aidants familiaux et professionnels). Nous allons étudier ensemble les priorités puis les propositions de technologies et d'aménagements qui s'adaptent mieux aux besoins, souhaits et contexte de la personne âgée. Cette approche facilite l'acceptabilité de ces changements. En plus, la discussion sur les tâches qui comportent des difficultés peut amener à une proposition par l'entourage d'assister la personne dans l'accomplissement de ces tâches au lieu d'acquiescer des technologies.

A la fin de cette étape, un tableau récapitulatif des technologies d'aide et des modifications envisagées sur l'habitat est généré. Celui-ci tient en compte de décisions prises par tous lors de la séance de co-adaptation.

## 3.4 Expérimentation dans un projet pour le maintien à domicile

Nous avons appliqué la démarche proposée dans un cas réel qui sera présenté dans cette section.



### 3.4.1 Description du cas

Montserrat (91 ans) et Antonio (95 ans) habitent en couple. Ils ont 5 enfants, 17 petits-enfants et 18 arrière-petits-fils. Ils habitent à Lérida (Espagne), à 100 km de tous leurs enfants, avec lesquels ils gardent de fréquents contacts. En 2013 Antonio (AB) a été blessé suite à une chute qui a accéléré sa situation de fragilité. Montserrat (MN) est en meilleure santé que son mari, bien qu'elle ait fait aussi une chute il y a quelques mois (avant l'étude). Tous les deux maintiennent leurs capacités cognitives presque intactes.

### 3.4.2 Analyse des besoins et des risques

Pour la première étape, nous avons rempli le questionnaire complet avec AB et MN en présence de leur aidant professionnel ainsi que de leur fille. Le questionnaire rempli se trouve dans l'annexe G.

Nous avons constaté que AB a principalement des difficultés pour se mobiliser. Ils ont une aide pour les tâches ménagères ce qui leur facilite la vie quotidienne. Nous avons constaté une préoccupation de leur entourage liée au risque de chute, principalement dans la salle de bain et dans leur chambre.

Nous avons noté lors de l'application du questionnaire, l'intérêt de la présence de toutes les personnes (personne âgée, aide-soignant et famille), car sur certaines questions les personnes âgées ont tendance à dissimuler leur fragilité. L'entretien et la visite permettent de repérer les habitudes et les lieux pour que les propositions soient adaptées à leur mode de vie.

### 3.4.3 Détermination du niveau de risques de l'habitat

Dans cette étape nous avons déterminé le niveau de risque de la maison. Nous avons identifié pour chaque pièce le niveau de risques selon les critères déjà exposés. Le tableau 3.7 présente les résultats.

Tableau 3.7 – Niveau de risques des pièces de la maison.

Niveau de risques dans la maison	
Aménagements par pièce	Risque
Cuisine : 3	3
Salle de bain : 4	2
Entrée : 4	2
Chambre et salle : 6	2
Espaces communs : 3	3

La figure 3.4 correspond à des photos de la salle de bain et des escaliers (espace commun).



FIGURE 3.4 – Exemple d'évaluation du niveau de risque pour la maison.

Nous pouvons constater que les escaliers comportent un niveau de risque 3 parce que plusieurs aménagements ne sont pas disponibles (l'illumination est insuffisante, les marches ne sont pas antidérapantes, il manque des supports d'un côté...). La salle de bain est évaluée niveau de risque 2. Après une chute, plusieurs aménagements ont été réalisés par la famille. Ils portent sur la diminution de risque de chute. Cependant d'autres risques peuvent encore être prévenus avec d'autres aménagements.

#### 3.4.4 Étude des solutions technologiques

Dans cette phase, nous avons utilisé le niveau de dépendance déterminé dans l'étape précédente pour chaque activité. Cette information nous permet de déterminer les catégories des technologies pouvant être proposées à chaque personne. Le tableau 3.8 présente les résultats pour MN et le tableau 3.9 pour AB.

Les tableaux présentent les activités et tâches qui ont été évaluées par un niveau B ou C, ce qui signifie qu'ils ont besoin d'une assistance pour les réaliser (le niveau A ne requiert pas d'assistance). Nous pouvons constater, que MN étant en meilleure santé que AB, elle requiert moins d'aide.

### 3.4. Expérimentation dans un projet pour le maintien à domicile

Tableau 3.8 – Information technologies-activités-dépendances pour MN.

Personne	Difficulté	Activité	Tâche	Technologie/service	
Montserrat	B	Maintien de l'équilibre et la posture	Se lever : changer d'étendu à assis	Manche de lit / Lit articulé	
		Hygiène de l'élimination urinaire et fécale	Maintenir la posture	Supports de bras et supports dorsaux	
		Hygiène générale	Entrer/Sortir/Maintenir l'équilibre	Chaises de bain/de douche, tabourets, supports dorsaux et sièges	
		Habillage et déshabillage	S'habiller : partie supérieure		
			S'habiller : partie inférieure	Produits d'assistance permettant d'enfiler les chaussettes et les collants	
		Boutonner	Tire-boutons, crochets permettant de manœuvrer les fermetures éclair		
		Courses	Réceptionner et ranger les courses		
	Déplacement dans la maison	Monter et descendre les escaliers	Supports de bras		
	Déplacement dehors la maison	Marcher	Fauteuils roulants motorisés		
	C	Ménage	Balayer et nettoyer les sols	Robot aspirateur	Aide ménagère
			Laver la ligne et faire le repassage		
			Faire les courses		
		Loisir extérieur	Partir en voyage/prendre l'ascenseur	Produits d'assistance au transfert d'une personne à l'intérieur ou à l'extérieur de véhicules	

Tableau 3.9 – Information technologies-activités-dépendances pour AB.

Personne	Difficulté	Activité	Tâche	Technologie/service
Antonio	B	Maintien de l'équilibre et la posture	Transférer le corps assis	Coussin tournant / Plaques tournantes
			Manipuler les vêtements	*
		Hygiène de l'élimination urinaire et fécale	Maintenir la posture	Supports de bras et supports dorsaux
			Éviter les fuites involontaires	Sous-vêtements de protection-Couche
		Hygiène générale	Se savonner	Distributeurs de savon avec infra-rouges Gants de toilette, éponges et brosses avec support, poignée ou pince de fixation
		Soins esthétiques	Prendre soin des ongles	Coupe-ongles fixe / Coupe-ongles avec lumière
		Habillage et déshabillage	Se chauffer	Chausse-pied de manche large
			S'habiller la part supérieur	
			S'habiller la part inférieure	Produits d'assistance permettant d'enfiler les chaussettes et les collants
			Boutonner	Tire-boutons, crochets permettant de manœuvrer les fermetures éclair
		Fermeture/ouverture volets	Fermer et ouvrir les volets	Pack de communication pour volets roulants
		Repas	Préparer le repas	Robot de cuisine
		Déplacement dans la maison	Se déplacer généralement	Canne, déambulateur
			Monter et descendre les escaliers	Supports de bras
	Déplacement dehors la maison	Ouvrir et fermer portes	Automatisation de porte	
		Marcher	Scotter ou fauteuils roulants motorisés	
	Gestion des problèmes de santé et soins sanitaires	Prendre la médication	Rappel de pris de médication	
		Utiliser matériels médicaux	Rappel d'usage	
		Gérer les soins médicaux	Télésoigné	
	C	Maintien de l'équilibre et la posture	Se lever : changer d'étendu à assis	Lève-personnes
		Hygiène générale	Entrer/Sortir/Maintenir l'équilibre	Brancards pour le bain, tables de douche et tables à langer
		Soins esthétiques	Se raser	Barbier à domicile
		Ménage	Balayer et nettoyer les sols	Robot aspirateur
Laver le linge et faire le repassage				
Faire les courses				
Réceptionner et ranger les courses				
Loisir extérieur	Partir en voyage-prendre l'ascenseur	Produits d'assistance au transfert d'une personne à l'intérieur ou extérieur de véhicules		

Nous avons également identifié certaines technologies et services qui peuvent être intéressants indépendamment des niveaux de difficultés de AB et MN :

- Produit Garden Age, pour faire du jardinage
- Fitness Zen ou CultureETCompagnie, pour les activités sportives
- Robot compagnon ou animal robotique
- Tablettes et ordinateurs adaptés aux personnes âgées.

D'autre part, la télé-assistance (avec ses différents dispositifs), les détecteurs de gaz et fumée ainsi que la télé-alarme sont des technologies recommandables pour la sécurité de toutes les personnes âgées.

#### 3.4.5 Étape de co-adaptation

Dans cette étape nous avons discuté avec AB, MN, leur fille et leur aidant. Nous avons d'abord défini leurs priorités. Ensuite nous avons noté pour chaque catégorie de technologie des tableaux 3.8 et 3.9 celles qu'ils possèdent déjà et celles qu'ils accepteraient d'utiliser. Finalement nous sommes arrivés à un consensus sur des technologies et aménagements utiles. Cette sélection a pris en compte le niveau de budget qu'ils ont défini lors de la discussion.

Selon les tableaux 3.8 et 3.9 nous avons sélectionné des technologies pouvant aider le couple. Pour cette étape nous avons considéré leur situation personnelle pour réaliser un premier filtre en discutant chaque catégorie avec eux. Le tableau 3.10 présente les résultats de cette première analyse.

Ensuite nous avons hiérarchisé les technologies et aménagements sélectionnés en fonction de leurs priorités, ce qui nous a permis par la suite de prendre des décisions et ne pas oublier les éléments les plus importants. Nous les avons donc classés en trois niveaux :

1. Aides indispensables : éviter les risques (chutes, accidents domestiques...) et sécuriser la maison
2. Aides recommandables : faciliter les tâches d'hygiène, déplacement et santé.
3. Aides facultatives : favoriser le lien social, la communication et les loisirs.

Nous pouvons retrouver dans le tableau 3.11 les aides par priorité, classées selon la pièce de la maison ainsi que la façon de réaliser l'installation (s'il s'agit des travaux sur la maison ou d'un achat).

Nous avons demandé au groupe de travail de fixer un budget pour l'acquisition des technologies et les aménagements. Ils ont fixé le budget disponible à 500€ . Nous avons ensuite analysé les différentes options en fonction de leurs priorités pour arriver à la décision finale.

Puisque cette analyse pour chaque technologie est un travail très détaillé, nous allons présenter seulement l'exemple pour l'entrée/couloir.

Pour rappel, dans cette pièce « Entrée/Couloir » les achats par ordre de priorité sont :

1. Supports ou barres à côté de la porte
2. Déambulateur
  - Cadre de marche

### 3.4. Expérimentation dans un projet pour le maintien à domicile

Tableau 3.10 – Sélection initiale de technologies en fonction de la situation personnelle.

Catégorie	Technologie	Commentaires
Être mobile, se déplacer	Manche de lit / Lit articulé	Déjà disponible
	Supports de bras et supports dorsaux	Déjà disponible
	Chaises de bain/de douche, tabourets, supports dorsaux et sièges	Déjà disponible
	Supports de bras dans les escaliers	
	Scooter ou fauteuils roulants motorisés	
	Produits d'assistance au transfert d'une personne à l'intérieur ou à l'extérieur de véhicules	
	Coussin tournant / Plaques tournantes	
	Déambulateur	
	Lève-personnes	
	Brancards pour le bain, tables de douche et tables à langer	
Automatisation de portes		
Santé	Téléassistance	Ils préfèrent aller chez le médecin si possible
Confort	Robot aspirateur	L'aide ménagère s'en occupe
	Robot de cuisine	L'aide ménagère s'en occupe
	Barbier à domicile	Déjà disponible
Sécurité	Téléassistance	Pas efficace
	Téléalarme	
	Détecteur de gaz et fumé	
Lien social et communication	Tablet ou ordinateur adapté	Déjà disponible
Stimulation	Rappel de tâches	Déjà disponible
	Garden âge	
	Culture&Compagnie / Zen Fitness	
Hygiène et soins personnelles	Sous-vêtements de protection/Couche	Déjà disponible
	Gants de toilette, éponges et brosses avec support, poignée ou pince de fixation	L'aide-soignant aide AB
	Coupe-ongles fixe / Coupe-ongles avec lumière	Pas nécessaire, MB le fait
	Chausse-pied de manche large	
	Produits d'assistance permettant d'enfiler les chaussettes et les collants	L'aide-soignant aide mais, les produits peuvent aider
Prévention	Tire-boutons, crochets permettant de manœuvrier les fermetures éclair	
	Pack de communication pour volets roulants	Pas nécessaire, MB le fait

Tableau 3.11 – Technologies en fonction de la priorité et par pièce de la maison.

Niveau	Pièce	Technologie/Aménagement	Comment
1	Cuisine	Sol antidérapant	Modification de la maison par professionnelles
		Détecteur de gaz et fumé	Achat et contractations
	Salle de bain	Porte d'ouverture vers l'extérieur pour éviter l'enfermement en cas de chute ou de malaise.	Modification de la maison par professionnelles
		Porte équipée de serrures pouvant s'ouvrir de l'extérieur pour secourir une personne blessée ou atteinte d'un malaise qui s'est enfermée	Achat
	Entrée/ Couloir	Sol antidérapant	Modification de la maison par professionnelles
		Supports ou bars à côté de la porte	Achat
	Chambre et salle	Sol antidérapant	Modification de la maison par professionnelles
		Sols débarrassés de tout obstacle	Modification simple de la maison
		Les marches ou dénivellations signalées par un revêtement ou une couleur différente.	Modification simple de la maison
	Escaliers	Éclairage homogène sans zone d'ombre sur tout le cheminement et indirect pour éviter l'éblouissement en montant ou en descendant	Modification de la maison par professionnelles
		Main courante correctement positionnée sur les deux côtés et débordante de 30 cm à chaque extrémité pour en faciliter l'accès	Modification de la maison par professionnelles
		Nez de marches visibles par leur contraste avec la marche.	Modification de la maison par professionnelles
	Autres	Marches recouvertes de revêtements antidérapants	Modification de la maison par professionnelles
Téléassistance		Contrat de service	
Téléalarme		Contrat de service	
2	Cuisine	Au moins 2 prises de courant par mètre	Modification de la maison par professionnelles
		Brancards pour le bain, tables de douche et tables à langer	Achat
	Salle de bain	Robinet avec limitation de la température de l'eau chaude à 60deg.	Modification de la maison par professionnelles
		Déambulateur	Achat
	Entrée/ Couloir	Automatisation de porte	Achat
	Chambre et salle	Dimension des fenêtres permettant donner une vue sur l'extérieur même en position assise.	Modification de la maison par professionnelles
		Coussin tournant / Plaques tournantes	Achat
		Lève-personnes	Achat
		Chausse-pied de manche large	Achat
		Produits d'assistance permettant d'enfiler les chaussettes et les collants	Achat
Extérieur	Tire-boutons, crochets permettant de manœuvrier les fermetures éclair	Achat	
	Scooter ou fauteuils roulants motorisés	Achat	
	Produits d'assistance au transfert d'une personne à l'intérieur ou à l'extérieur de véhicules	Achat	
3	Extérieur	Garden âge	Achat
		Culture&Compagnie / Zen Fitness	Contrat de service

- Déambulateur avec assise
- Déambulateur à deux roues
- Déambulateur à trois roues
- Déambulateur à quatre roues

### 3. Automatisation de porte

Et les modifications de la maison :

#### 1. Sol antidérapant

L'annexe H présente l'analyse détaillée et les options disponibles pour cette pièce. C'est cette information que nous avons présentée et discutée en détail avec le groupe en tenant compte du budget disponible.

Tableau 3.12 – Récapitulatif de la décision finale.

Élément	Meilleure option	Explication	Achat concret	Prix	Décision
Support ou bar à côté de la porte	Barre d'appui fixe sur pied	L'objectif de cet aménagement est de conférer un soutien à la personne âgée quand elle rentre à la maison. Elle doit être fixe et comme la personne est en position debout, la barre sur pied offre une sensation de plus d'équilibre.	Barre d'appui fixation au sol NY 451 (Nom-bau)	281,28 €	Acheter
Sol antidérapant	Peinture antidérapant	Changer le sol impliquerait un devis très élevé et quelques jours de travail à la maison.	Color Bitume (Wataco)	35,6 €/m <sup>2</sup>	Le sol de l'entrée et du couloir n'est pas spécifiquement antidérapant mais la possibilité de chute à cause d'un glissement n'est pas très élevée. Cette option est prioritaire pour la cuisine et les escaliers mais pas pour cette zone.
Déambulateur	Cadre de marche	L'objectif est de conférer la sensation de plus de stabilité en marchant. AB peut marcher tout seul à l'aide d'une canne mais ses fils ont peur qu'il fasse une chute. L'option du déambulateur le plus simple est suffisante.	Brio (Invacare)	60,8 €	Acheter
Automatisation de porte	Détecteur d'ouverture	AB a des difficultés à ouvrir les portes du a la diminution de force liée à l'âge.	Otodor (SkyLink Canada)	368,4 €	Puisque le groupe n'a pas considéré cette option comme prioritaire, ils ont décidé de refuser cet achat et respecter ainsi le budget.

A la fin de la discussion, le tableau 3.12 présente les décisions prises par le couple, leur aidant et leur fille pour l'entrée et le couloir. Des éléments comme l'automatisation de la porte et la peinture antidérapante qui ont été sélectionnés dans une première phase ont été ensuite refusés en prenant en compte le budget disponible. Le tableau permet par la suite d'envisager les évolutions et les investissements futurs.

## 3.5 Limites et perspectives

Nous avons présenté une étude de cas relative à l'application de la méthodologie de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile. Cette expérimentation nous a permis également d'identifier des points forts et des limites qui devront être pris en compte dans des travaux futurs.

D'une part, même si nous avons mentionné, dans le contexte du MAD, l'existence des aides de l'état, nous n'avons pas pris en compte ce point dans la dernière étape. Dans la méthodologie proposée, il est à noter que nous demandons le budget alloué seulement à la dernière étape lorsque des technologies et solutions ont été sélectionnées. Ainsi, l'argent ne doit pas être un facteur limitant la réflexion dès le départ. Cependant lors de la décision finale, quand le budget est pris en compte, il est donné par le groupe et il ne prend pas en compte les aides auxquelles la personne peut avoir droit. Cela pourra être intégré dans la méthodologie directement ou avec la participation d'un acteur connaissant les aides et pouvant guider le groupe lors de cette phase, par exemple une assistante sociale.

D'autre part, nous pouvons considérer que l'inclusion d'une analyse des risques dans la démarche est une contribution innovante car aucune grille ne les considère. À l'aide de la littérature, nous avons confirmé l'importance de l'état de l'habitat et, par conséquent, nous avons décidé de l'incorporer dans notre recherche. Ainsi, nous constatons qu'une modification des grilles (d'évaluation) existantes voire la définition d'une nouvelle grille est nécessaire. Les propositions de notre recherche peuvent servir comme point de départ.

Nous avons constaté lors de l'expérimentation que la présence de l'entourage de la personne âgée (aidants familiaux et professionnels) dans les séances de co-adaptation est indispensable. D'abord pour rassurer les personnes âgées et ensuite pour compenser l'éventuel manque d'objectivité des personnes âgées qui tendent à sur estimer leurs capacités.

Nous constatons que la démarche de co-adaptation pourra être complétée par une évaluation de l'acceptabilité des technologies recommandées. Ce qui permettra en plus de vérifier si les technologies recommandées sont faciles à utiliser et vraiment utiles pour la personne. D'autre part, un outil ou méthode d'évaluation permettra à l'analyste d'évaluer les avantages et inconvénients des différents scénarios de solution.

Nous avons débuté ce chapitre avec un objectif ambitieux pour contribuer à la définition d'une démarche de conception d'un système de maintien à domicile. Comme nous l'avons mentionné dans la première section, ce dispositif de MAD est complexe. Il est à la fois technologique, organisationnel, social et financier. Nous avons choisi de traiter dans ce chapitre l'aspect lié à la co-adaptation du domicile avec des technologies et services existants. Il est donc envisageable de faire évoluer, dans des travaux futurs, cette approche pour prendre en compte les autres aspects.

Comme pour la démarche de co-conception, une démarche de co-adaptation aboutit à la proposition d'une solution possible. L'intégration des parties prenantes lors de ces démarches permet de diminuer les risques d'échec du projet, au moins en ce qui concerne la réponse aux besoins de ces parties prenantes et l'adaptation au contexte. Cependant, le chef de projet n'as pas systématiquement la possibilité d'intégrer les parties prenantes très tôt en conception. Il ne dispose pas d'un outil lui permettant d'évaluer correctement les chances de la solution d'être acceptée, ni de quelle façon cette même solution peut être améliorée. Dans le chapitre suivant, nous présentons une démarche d'évaluation de l'acceptabilité des

solutions qui permettra au chef de projet d'estimer les chances de la solution d'être acceptée et qui lui permettra de simuler différents scénarios d'amélioration.



# Chapitre 4

## Vers une démarche d'évaluation de l'acceptabilité

### Sommaire

---

<b>4.1 Modèles d'évaluation de l'acceptabilité existants</b> .....	<b>79</b>
<b>4.2 Modélisation des relations entre les critères</b> .....	<b>82</b>
4.2.1 Généralités sur les réseaux bayésiens .....	83
4.2.2 Algorithmes pour la construction du réseau .....	86
<b>4.3 Proposition d'une démarche d'évaluation de l'acceptabilité</b> .....	<b>87</b>
4.3.1 Construction du Réseau bayésien .....	89
4.3.2 Évaluation initiale de l'acceptabilité .....	94
<b>4.4 Cas d'application : Logiciel de pause active</b> .....	<b>94</b>
4.4.1 Construction du RB .....	95
4.4.2 Évaluation initiale de l'acceptabilité .....	97
<b>4.5 Cas d'application : Dispositif d'enfilage de bas de contention médicale</b>	<b>100</b>
4.5.1 Construction du RB .....	100
4.5.2 Évaluation initiale de l'acceptabilité .....	103
<b>4.6 Critères spécifiques dans le domaine de la santé</b> .....	<b>105</b>
<b>4.7 Conclusion</b> .....	<b>106</b>

---

Les deux chapitres précédents nous ont permis de montrer l'importance d'intégrer les différentes parties prenantes lors de la génération des concepts de solution prenant en compte les différentes parties prenantes afin d'améliorer la réussite du projet. Nous avons présenté l'intérêt des prototypes et de leur évaluation en situations d'usage. Les évaluations d'usage permettent d'obtenir rapidement les retours des utilisateurs sur des éléments comme l'ergonomie et la facilité d'usage.

A la fin de la phase de génération de concepts, le chef de projet se retrouve face à la décision de poursuite, ou non, du projet en phase de développement. Pour réduire les risques et incertitudes liés à cette phase, les analyses de faisabilité économique et technologique sont des pratiques courantes. D'autres facteurs tels que la maturité de l'entreprise pour développer le projet conditionnent la réussite des innovations (Cornu et al., 2012). Mais nous constatons le manque d'une évaluation permettant de s'assurer que les différents facteurs d'acceptabilité ont été bien pris en compte dans le concept de solution. Dans ce chapitre nous allons proposer une démarche d'évaluation de l'acceptabilité d'un concept innovant.

Le processus d'adoption des technologies peut être considéré comme un continuum temporel et les éléments influençant l'usage peuvent être étudiés en trois temps différents : l'acceptabilité *a priori*, l'acceptation et l'appropriation (Bobillier-Chaumon et Dubois, 2009 ; Reerink-boulangier, 2012). Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude de l'acceptabilité *a priori*, puisque nos recherches se situent dans les phases amont de la conception de produits et services. Nous cherchons ici à évaluer les perceptions et les représentations de l'usage que se fait l'utilisateur à partir de la présentation du concept retenu. Ce concept peut être matérialisé sous forme d'OIC (maquette, prototype, ...) et son scénario d'usage peut être décrit par un texte, un schéma ou plus rarement à ce stade de la conception, par un modèle (par exemple, un diagramme de séquence).

Dans ce chapitre nous allons d'abord faire un bref état de l'art sur les modèles existants pour évaluer l'acceptabilité, puis analyser leurs limites. Par la suite, nous présenterons notre proposition d'un nouveau cadre d'évaluation. Notre modèle utilise le formalisme de modélisation des réseaux bayésiens, nous allons donc décrire son utilisation. La démarche d'évaluation sera testée et illustrée à travers deux études de cas.

## 4.1 Modèles d'évaluation de l'acceptabilité existants

Nous retrouvons dans la littérature différentes propositions de modèles pour évaluer l'acceptabilité technologique. Ben Rejeb (2008) a proposé une démarche basée sur le modèle de Kano et al. (1984) pour évaluer et classer les besoins des utilisateurs d'un nouveau produit. Cette démarche suggère que plus les besoins de l'utilisateur sont satisfaits par la solution, plus celle-ci sera acceptée. Cette approche est limitée car elle ne se focalise que sur les besoins des utilisateurs et ne prend pas en compte d'autres critères provenant de l'environnement ou d'autres parties prenantes.

Luo, Su et Lee (2011) pour leur part proposent de construire un modèle intelligent (fondé sur des techniques comme les réseaux de neurones artificiels) capable d'ordonner par préférence les attributs de conception du produit et de prédire en utilisant ce modèle le niveau d'acceptabilité. Cette approche quoique performante requiert une grande quantité de données relatives à l'évaluation par les utilisateurs. Elle semble plus adaptée au processus

d'innovation incrémentale dans lequel un produit est déjà existant sur le marché et peut être amélioré.

Le modèle de Nielsen (1993) (cf. Fig. 4.1) distingue deux catégories de facteurs d'acceptabilité d'un système : l'acceptabilité sociale d'une part et l'acceptabilité pratique d'autre part. La première se réfère à la conformité du système aux besoins sociaux tandis que l'acceptabilité pratique est liée à l'environnement technique du système envisagé (fiabilité, compatibilité avec son environnement) ainsi qu'à des aspects liés à son utilité. Ce dernier aspect est composé par l'utilité des fonctions et l'utilisabilité (facilité d'utilisation). L'utilisabilité est composée par cinq dimensions : la facilité d'apprentissage, l'efficacité, le maintien en mémoire des fonctions, la prévention des erreurs et la satisfaction. Elle a fait l'objet d'une norme ISO 9241-210 version de 2010 (ISO, 2010). Le modèle peut être employé comme un outil qui prescrit des paramètres à prendre en compte lors de la conception des systèmes, notamment pour les interactions homme-machine.

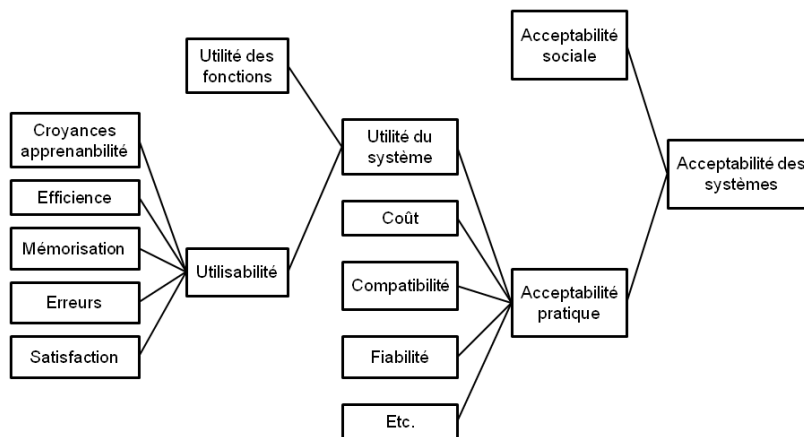


FIGURE 4.1 – Modèle de Nielsen, traduit de (Nielsen, 1993).

D'autre part nous trouvons les approches basées sur l'intention comportementale des individus pour prédire leur comportement. La Théorie de l'Action Raisonnée (TAR) développée par Ajzen et Fishbein (1980) a été le point de départ de la construction de différents modèles d'acceptabilité, comme le modèle d'acceptabilité de la technologie (Technology Acceptance Model TAM) développé par Davis (1989) qui a été le pionnier. Ce modèle vise à diagnostiquer pendant la conception les problèmes pouvant limiter l'adoption et l'acceptation de la technologie. Il affirme que les premiers facteurs d'influence de l'acceptation de la technologie sont l'utilité perçue (PU) et la facilité d'utilisation (PEOU). L'utilité perçue est « le degré avec lequel une personne pense que l'utilisation d'un système améliore sa performance » et la facilité d'utilisation est en relation avec « le degré auquel la personne pense que l'utilisation d'un système ne nécessite pas d'efforts ». Des adaptations de ce modèle ont été proposées dans TAM2, pour inclure d'autres facteurs notamment des facteurs influençant l'utilité perçue (Venkatesh et Davis, 2000). Les figures 4.2 présentent les deux modèles.

Ces modèles prennent l'individu comme seul élément d'étude et accordent peu d'attention à la dimension sociale. Pour remédier à cette limite, les auteurs de ces modèles ont proposé par la suite une approche organisationnelle nommée Théorie Unifiée de l'Acceptation

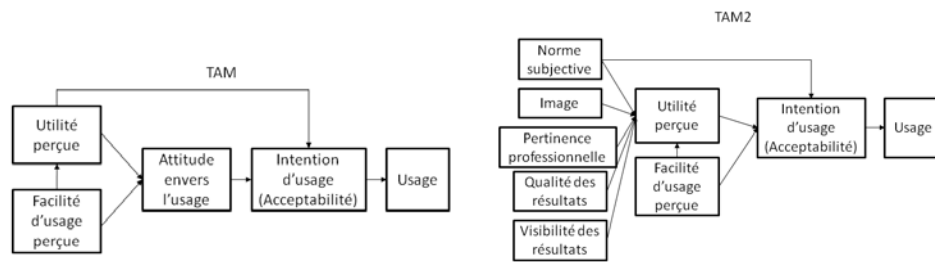


FIGURE 4.2 – Modèles TAM et TAM2 sur l'acceptabilité technologique.

et de l'Usage Technologique (UTAUT) (Venkatesh et al., 2003). L'apport majeur de ce modèle réside dans l'effort d'intégrer les conditions du contexte organisationnel que les auteurs qualifient de conditions facilitatrices. Ce modèle est critiqué parce que l'intégration de l'aspect social est seulement analysé par la perception que l'individu a sur les autres, mais la perception des autres parties prenantes ou d'autres éléments du contexte sont laissés de côté.

Les modèles ci-dessus ont été appliqués dans plusieurs domaines. Ils ont été utilisés pour étudier par exemple les facteurs d'acceptation et d'adoption de services bancaires sur internet en Tunisie (Nasri et Charfeddine, 2012), les facteurs influençant l'acceptation des énergies renouvelables (Huijts, Molin et Steg, 2012), pour prédire l'acceptation des gérontechnologies (technologies pour les personnes âgées) à Hong Kong (Chen et Chan, 2014) ou pour étudier l'introduction des nouvelles technologies dans les hôpitaux (Aggelidis et Chatzoglou, 2009). Pour une revue des différentes applications, notamment dans le domaine de la santé, nous orientons le lecteur vers (Holden et Karsh, 2010).

Caine et al. (2006) ont réalisé une étude sur l'application de différentes théories sur l'acceptabilité en explorant les travaux de recherche publiés durant 50 ans jusqu'en 2006. Ils suggèrent aux concepteurs d'inclure des critères mentionnés dans le tableau 4.1 dans la démarche de conception afin d'augmenter la chance que la technologie soit acceptée.

En analysant les travaux précédents, nous constatons que les critères d'utilité perçue et de facilité d'usage perçue tiennent une place privilégiée (Davis, 1989 ; Venkatesh et Davis, 2000 ; Venkatesh et al., 2003). Le critère relatif à l'influence sociale (contexte d'utilisation) est seulement pris en compte dans le critère d'image perçue. D'autre part, les travaux de Luarn et Lin (2005) ont permis d'explorer l'apport de la perception du respect des données privées dans les produits technologiques ou les technologies de l'information et communication. Leur travail a notamment évalué l'acceptabilité des services technologiques d'une banque mobile.

Malgré l'effort réalisé pour intégrer la dimension sociale, ces modèles sont limités du fait que l'évaluation réside uniquement dans l'expérience de l'utilisateur final. La prise en compte des différentes parties prenantes est insuffisante voire inexistante. Nous avons à travers l'intention comportementale de l'utilisateur un indicateur d'acceptabilité de l'individu. Cependant il manque un (ou des) indicateur(s) de l'acceptabilité des autres parties prenantes. Les modèles décrits précédemment ne fournissent pas une vision globale des interactions entre les différents facteurs. En outre, ces modèles sont essentiellement utilisés comme mécanismes de *measure* une fois que la technologie a été déployée. Certes, cela per-

Tableau 4.1 – Critères d’acceptation technologiques soulignés par (Caine et al., 2006)

Critère	Raisonnement	Référence
Utilité perçue	Les besoins des utilisateurs doivent être pris en compte dès le début de la conception	(Davis, 1989)
Facilité d’usage perçue	Le produit doit être testé avec les utilisateurs pour valider la facilité d’usage	(Davis, 1989)
Compatibilité perçue	Compatibilité de l’utilisation avec ce que les utilisateurs connaissent	(Moore et Benbasat, 1991)
Complexité perçue	Facilité de comprendre le produit	(Rogers, 1995)
Amusement perçu	Niveau de plaisir et amusement ressenti par l’utilisation	(Brosnan, 1999)
Image perçue	Statut gagné avec l’usage du dispositif	(Moore et Benbasat, 1991)
Nouveauté perçue	Perception de modernité par les utilisateurs	(Gruen, 1960)
Privacité perçue	Respect de la vie privée, les données collectées sont utilisées pour améliorer l’expérience	(Luarn et Lin, 2005)
Avantage comparatif perçu	Améliorations perçues par rapport aux autres solutions existantes	(Dillon et Morris, 1999)
Risque perçu	Perceptions des risques associées avec l’utilisation du produit à l’utilisateur ou aux autres.	(Featherman et Pavlou, 2003)

met d’étudier et d’expliquer des phénomènes d’acceptation technologique mais ne permet pas de trouver des éléments de leviers à mettre en pratique pendant la conception pour améliorer l’acceptation du produit final. Dans le but de contribuer à cette problématique, nous allons dans la suite du chapitre présenter une démarche d’évaluation de l’acceptabilité. La démarche proposée permet d’évaluer le niveau initial d’acceptabilité d’un produit à développer dès la phase de définition des nouveaux concepts et contribue à l’identification des leviers qui pourraient aider à améliorer l’acceptabilité.

Les modèles présentés dans la littérature utilisent les méthodologies de régressions multiples, régressions des moindres carrés partiels (PLS), modélisation en équations structurales (SEM) et ANOVA (Bagozzi, 2007). Ces méthodologies sont pourtant restreintes au moment d’évaluer des scénarios de changement des critères. Dans notre cas nous avons besoin de simuler et évaluer des scénarios d’amélioration de l’acceptabilité de la solution. Nous avons trouvé dans les réseaux bayésiens l’outil de modélisation qui s’adapte le mieux à nos besoins. Dans la section suivante, nous allons introduire les bases conceptuelles de cet outil.

## 4.2 Modélisation des relations entre les critères

Notre objectif est de fournir une démarche d’évaluation de l’acceptabilité fournissant une vision globale sur les différents critères d’évaluation, le calcul de l’indice d’acceptabilité potentielle (IAP) et la simulation des scénarios d’action afin de trouver des améliorations du niveau évalué. Compte tenu de la nature incertaine des informations dans les premières phases du cycle de conception, les techniques provenant de l’intelligence artificielle peuvent aider à faire face à ce challenge. En effet, nous trouvons quelques propositions pour évaluer

et prédire l'acceptabilité en utilisant ces techniques. Par exemple Elazouni, Ali et Abdel-Razek (2005) ont estimé l'acceptabilité d'un nouveau système de coffrage pour la construction en utilisant des réseaux neuronaux. Luo, Su et Lee (2011) pour leur part, proposent une combinaison de techniques : Support Vector Machine (ensemble des techniques d'apprentissage supervisé) et les réseaux bayésiens pour prédire l'acceptabilité des produits. Ils ont testé leur méthodologie avec un cas relatif à une voiture. Cette méthodologie requiert un nombre important de données.

Comparés avec d'autres techniques (réseaux de neurones, machines à vecteurs de support, arbres de décision. . .), les réseaux bayésiens permettent d'intégrer différentes sources d'information (connaissances d'experts et données collectées) ainsi que la manipulation des données incomplètes et incertaines. Nous avons pour cela choisi d'utiliser le formalisme de réseaux bayésiens pour construire le modèle et instrumenter la démarche d'évaluation de l'acceptabilité. D'autres arguments permettant de justifier notre choix seront fournis dans la suite de ce chapitre.

Dans la partie suivante nous présentons le formalisme de réseaux bayésiens ainsi que les propriétés qui seront utilisées pour notre démarche.

### 4.2.1 Généralités sur les réseaux bayésiens

Les réseaux bayésiens sont des modèles graphiques permettant de modéliser la connaissance sur un domaine et d'utiliser cette connaissance pour raisonner sur un problème. En tant que modèles probabilistes, ils sont particulièrement utiles pour représenter des informations incertaines (Jensen et Nielsen, 2007). Ils sont composés d'une partie qualitative et d'une autre, quantitative. La partie qualitative est un graphe orienté acyclique dans lequel des nœuds avec différents états représentent les variables d'intérêt. Les liens par des arcs entre deux nœuds représentent la dépendance causale et conditionnelle entre eux. Pour la partie quantitative, elle se réfère à la relation entre un nœud et ses parents. La relation peut être représentée par la probabilité des états du nœud en fonction des états des nœuds parents. Cette relation est représentée par un tableau de probabilités conditionnelles du nœud (TPC).

Nous pouvons par exemple représenter le modèle TAM à l'aide du formalisme bayésien (cf. figure 4.3). Dans l'exemple, les nœuds représentent les variables utilité perçue (PU), facilité d'usage perçue (PEOU) et intention d'usage (ITU). Les variables peuvent prendre les valeurs : (bas, haut) pour PEOU et PU ; et (oui, non) pour ITU. Les informations correspondant aux variables peuvent être obtenues à partir d'une base de données issues des évaluations et/ou des avis d'experts. Ces informations sont présentées par les tableaux associés aux nœuds. L'information montre que dans l'exemple du modèle, 30 % des utilisateurs perçoivent l'utilité du système comme *haut* et les 70 % restants au niveau *bas*. Le TPC associé au nœud ITU montre les probabilités d'occurrence des états oui et non en fonction des états des autres nœuds.

Une fois la connaissance du domaine modélisée avec le réseau, nous pouvons utiliser le théorème de Bayes (Bayes et Price, 1763) qui est le fondement mathématique des RB pour réaliser deux types de raisonnement :

- Le diagnostic (inférence ascendante) qui permet, en partant d'une observation, de

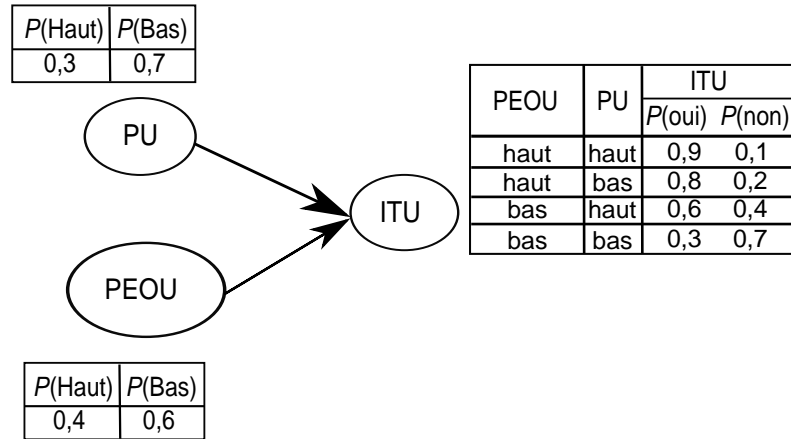


FIGURE 4.3 – Modèle TAM présenté par le formalisme bayésien.

retrouver la cause la plus probable parmi les hypothèses.

- La prédiction (inférence descendante), qui permet d’estimer la probabilité d’apparition d’une observation conditionnellement aux hypothèses.

Mathématiquement, nous nommons l’espace des hypothèses  $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_i, \dots\}$  et l’espace des observations  $\Omega = \{\omega_1, \dots, \omega_k, \dots\}$ . Pour représenter le lien entre observations et hypothèses, nous utilisons une distribution de probabilités conditionnelles. Cette distribution de probabilités est notée  $P^\Omega(.|\theta_i)$ .

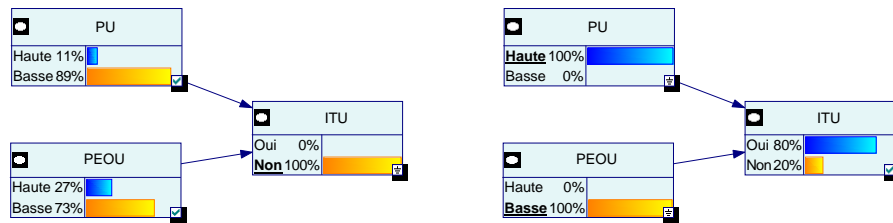
Lorsque nous obtenons de l’information concernant les valeurs des hypothèses (un événement par exemple) nous pouvons la représenter sous la forme d’une distribution de probabilités conditionnelles sur l’ensemble des observations  $\Omega$ , notée  $P(\omega_k|\theta_i)$ , qui caractérise la vraisemblance de l’observation  $\omega_k$  connaissant l’hypothèse  $\theta_i$  (Villeneuve, 2012). Pour effectuer un raisonnement par inférence ascendante visant à déterminer la cause la plus probable de cette observation en calculant la distribution de probabilités a posteriori  $P\Theta(.|\omega_k)$  nous utilisons le théorème de Bayes :

$$P(\theta_i|\omega_k) = \frac{P(\theta_i) \times P(\omega_k|\theta_i)}{\sum_{\theta_i \in \Theta} P(\theta_i) \times P(\omega_k|\theta_i)} \quad (4.1)$$

Lorsque la distribution de probabilités  $P(.|\theta_i)$  est connue et qu’une hypothèse  $P(\theta_i)$  est émise, le théorème de Bayes permet de mettre en œuvre le raisonnement par inférence descendante. Il estime l’effet d’une hypothèse sur les observations  $P(\omega_k)$  en calculant la distribution de probabilités permettant alors de prédire l’événement le plus probable :

$$P(\omega_k) = \sum_{\theta_i \in \Theta} P(\theta_i) \times P(\omega_k|\theta_i) \quad (4.2)$$

Les deux types de raisonnement que nous venons de présenter permettent dans notre exemple de modèle TAM de savoir pour un utilisateur qui a déclaré une intention d’usage (ITU=Non) les niveaux des variables PU et PEOU les plus probables pour expliquer cette



(a) Exemple de diagnostic sur le réseau bayésien. (b) Exemple de pronostic sur le réseau bayésien.

FIGURE 4.4 – Exemple de raisonnements sur le RB.

affirmation. Inversement pour un utilisateur qui a évalué l'utilité perçue (PU) comme haut et PEOU comme bas, on peut connaître la probabilité que son intention d'usage soit oui. La figure 4.4 montre un exemple pour ces deux types d'inférence. La figure 4.4a montre l'exemple de diagnostic (inférence ascendante) dans lequel un utilisateur qui déclare une intention d'usage négative (non) peut être expliquée par la PU basse avec une probabilité 0,89 et PEOU basse avec une probabilité de 0,73. La figure 4.4b montre l'exemple de pronostic (inférence descendante) dans lequel l'utilisateur a évalué PU comme haute et PEOU comme basse, la probabilité que son intention d'usage (ITU) soit positive (oui) est de 80% contre 20% de probabilité qu'elle soit négative (non).

L'inférence dans un RB permet de mettre à jour le réseau (les tableaux de probabilités conditionnelles) en fonction des nouvelles informations pouvant apparaître. L'inférence est basée sur le théorème de Bayes. Pour implémenter l'inférence dans des outils logiciels, deux types d'approches existent : exactes et approchées. Les algorithmes les plus courants pour l'inférence sont listés dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 – Algorithmes pour l'inférence bayésien.

Algorithme d'inférence	
Exacte	Bucket elimination
	Passage de messages (Pearl, 1988)
	Arbre de jonction (Jensen, 1996)
Approchée	Méthodes de Monte-Carlo
	Échantillonneur de Gibbs (Geman et Geman, 1984)
	Méthode par variation de clusters (Kappen, 2002)

Pour les algorithmes exacts, certains utilisent la propagation de messages prolongés par des algorithmes de conditionnement consistant à calculer localement les probabilités pour chaque nœud du graphe (Pearl, 1988). D'autres types de méthodes exactes regroupent les nœuds jusqu'à l'obtention d'un arbre de jonction (Jensen, 1996 ; Jensen et Nielsen, 2007 ;



Huang et Darwiche, 1996). Une propagation de messages simplifiés permet ensuite la propagation de l'information. Les algorithmes approchés utilisent des mécanismes stochastiques pour simuler un grand nombre de fois le réseau et pour obtenir une probabilité jointe (Geman et Geman, 1984 ; Neal, 1993).

#### 4.2.2 Algorithmes pour la construction du réseau

Les algorithmes d'inférence sont très utiles quand le réseau bayésien est déjà construit. Cependant, il existe deux types d'algorithmes qui peuvent aider dans la construction du réseau. Il s'agit des algorithmes d'apprentissage de la structure du réseau et des algorithmes pour l'apprentissage des paramètres (lois des probabilités conditionnelles). La structure d'un réseau bayésien peut être construite directement par un expert, ou apprise à partir d'une base de données représentant la connaissance du domaine, ou les deux (les données sont utilisées pour apprendre une première version de la structure que l'expert modifiera ou validera). Il est possible de construire de la même façon des lois de probabilités.

Les algorithmes d'apprentissage sont divisés en fonction du type des données disponibles : données complètes ou données incomplètes. Les algorithmes pour les données incomplètes sont très utiles quand les données sont observables partiellement à cause des contraintes techniques. C'est le cas par exemple d'un capteur d'une machine avec du bruit entraînant la perte d'un pourcentage des données. Le tableau 4.3 montre les algorithmes disponibles pour chaque type d'apprentissage. Pour plus de détails sur les algorithmes le lecteur peut consulter (Naïm et al., 2008).

Tableau 4.3 – Algorithmes pour l'apprentissage bayésien.

	Paramètres	Structure
<b>Données complètes</b>	Maximum de vraisemblance MV	Causality search
	Espérance-a-posteriori EAP	MWST
	Maxi-a-posteriori MAP	K2
		Recherche GS Recherche GES
<b>Données incomplètes</b>	EM itératif	Structural-EM
	Échantillonnage de Gibbs	Heuristique EMCMC
		MWST-EM

Nous pouvons synthétiser la démarche de construction d'un réseau bayésien par la figure 4.5. La première étape consiste à identifier les variables d'intérêt. Dans le modèle TAM de l'exemple 4.3, cela consiste à identifier les trois variables PU, PEOU et ITU. Dans ce cas les variables appartiennent à un modèle connu. Dans un cas industriel les variables peuvent également correspondre à des données collectées par des capteurs. La deuxième étape correspond à la construction de la structure du réseau bayésien avec les variables par un expert et/ou apprise à partir d'une base de données. Par exemple pour un cas industriel une base de données sur l'historique des mesures des capteurs peut être utilisée, un algorithme d'apprentissage identifiera les relations entre les variables pour construire la structure. La

dernière étape consiste à définir les lois des probabilités conditionnelles. Cette étape peut être également réalisée par la modélisation de la connaissance experte dans les tableaux de probabilité et de probabilité conditionnelle (TP et TPC) ou en utilisant une base de données pour apprendre les lois (paramètres) de façon automatique. Après l'étape précédente, le réseau peut être utilisé pour faire des inférences.

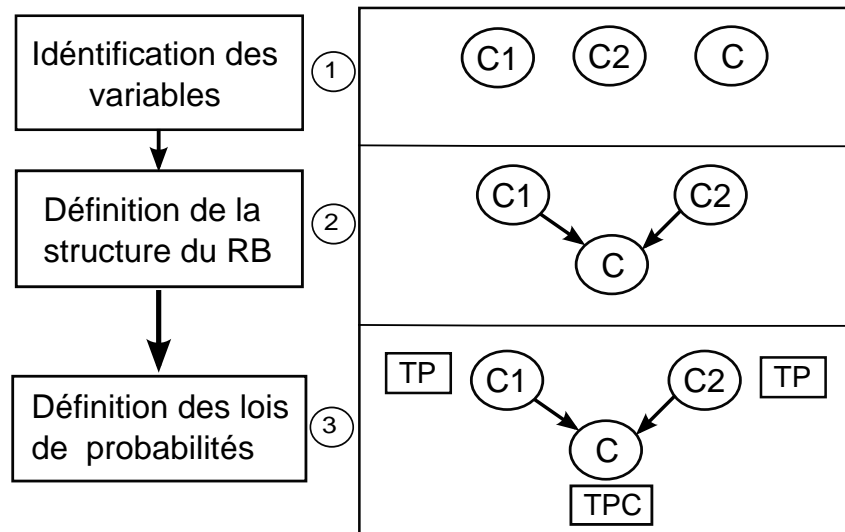


FIGURE 4.5 – Démarche de création d'un réseau bayésien.

Après la présentation des concepts de base sur les réseaux bayésiens, nous allons présenter la démarche d'évaluation de l'acceptabilité.

### 4.3 Proposition d'une démarche d'évaluation de l'acceptabilité

Dans les sections précédentes, nous avons présenté les éléments nécessaires pour l'évaluation de l'acceptabilité. Cependant ces éléments ne sont pas suffisants pour aider le chef de projet et les concepteurs dans la prise de décision. Nous proposons pour cela une démarche d'évaluation de l'acceptabilité afin de guider l'équipe de projet dans le processus d'évaluation et de prise de décision. L'objectif est de contribuer au processus de validation d'un concept de solution en estimant l'acceptabilité de la solution. Une fois l'évaluation initiale réalisée, l'approche proposée permet l'analyse des différents critères d'acceptabilité. Cette analyse permettra aux concepteurs d'étudier les améliorations à apporter au produit pour augmenter le niveau d'acceptabilité. La figure 4.6 place l'étape d'évaluation dans le processus de conception de nouveaux produits. Elle est composée des deux grandes étapes : Construction du Réseau bayésien et Évaluation initiale de l'acceptabilité.

La démarche d'évaluation peut soit accompagner l'étape d'expérimentation pour aider dans la sélection d'un concept, soit démarrer à la fin du cycle de génération des concepts. La démarche est complémentaire aux évaluations de faisabilité économique et technique.

### 4.3. Proposition d'une démarche d'évaluation de l'acceptabilité

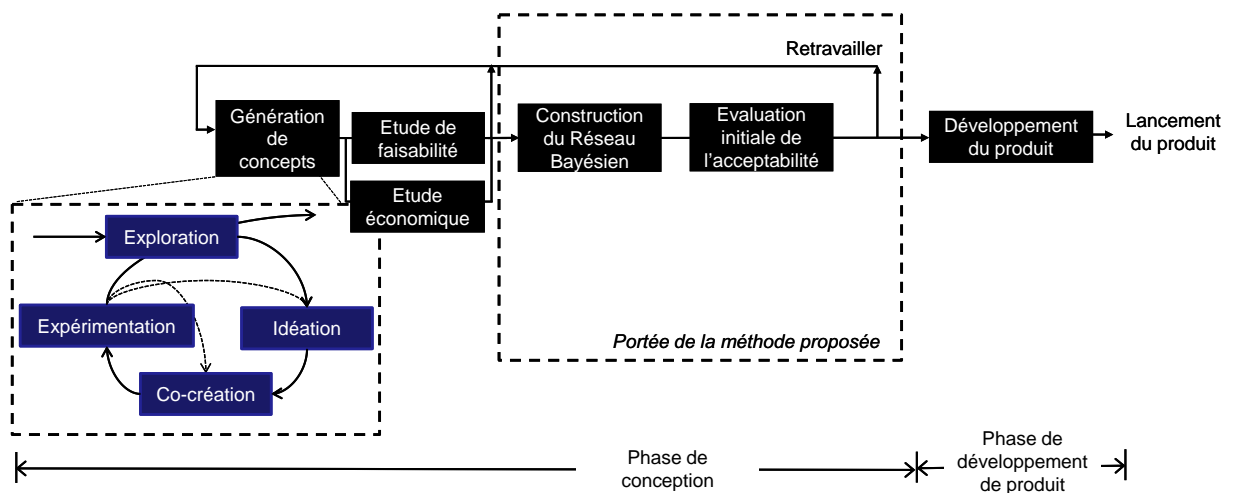


FIGURE 4.6 – Place de l'évaluation de l'acceptabilité dans le processus de conception.

Comme nous l'avons déjà mentionné, tous ces éléments permettent au chef de projet de prendre des décisions en minimisant les risques d'échecs.

La démarche proposée est présentée dans la figure 4.7. Elle comporte deux grandes étapes qui se décomposent en cinq sous étapes. La première étape permet de construire le réseau bayésien qui sera utilisé pour l'évaluation : identification des critères d'évaluation de l'acceptabilité, recueil des données, construction des tableaux de probabilité conditionnelle (TPC). La deuxième étape consiste en l'évaluation initiale et la simulation de scénarios. Le réseau construit est utilisé pour réaliser la première évaluation du niveau d'acceptabilité (en faisant une inférence descendante) et ensuite pour réaliser des simulations des différents scénarios visant à identifier des améliorations possibles.

Nous allons maintenant présenter de façon plus détaillée chaque étape.

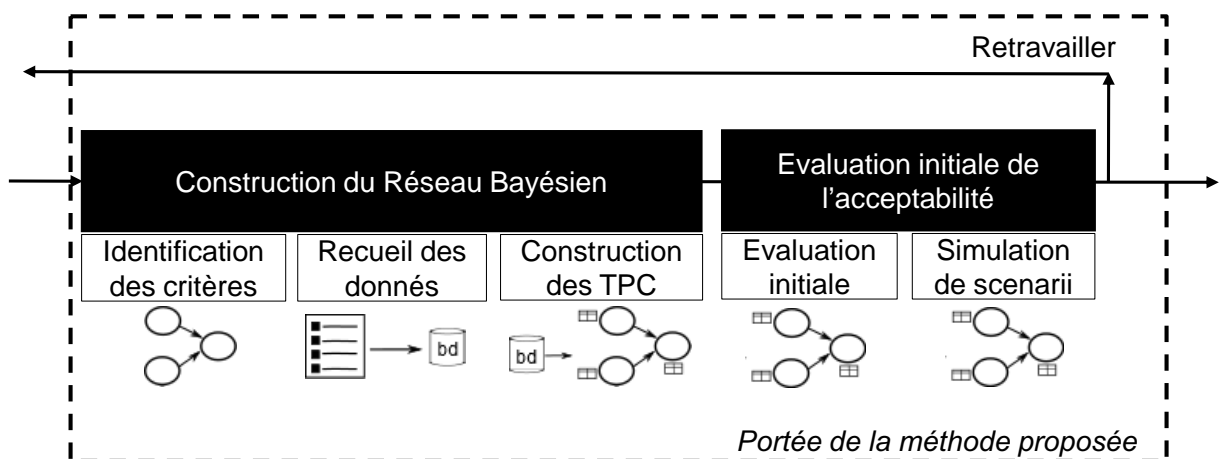


FIGURE 4.7 – Démarche d'évaluation de l'acceptabilité.

### 4.3.1 Construction du Réseau bayésien

L'objectif de cette première étape est d'identifier les variables (critères) à évaluer dans la solution et construire le réseau bayésien.

#### Un cadre d'évaluation de l'acceptabilité technologique

En s'appuyant sur les travaux précédents et l'analyse des théories de l'acceptabilité, nous proposons dans le tableau 4.4 les critères à prendre en compte pour l'évaluation de l'acceptabilité. Ce cadre d'analyse n'est pas figé et apporte une première liste de critères pour construire un modèle d'évaluation. En fonction du produit ou système à évaluer, certains critères peuvent être pris en compte, d'autres critères n'apparaissant pas dans le tableau peuvent être ajoutés.

Dans le tableau, nous observons que l'utilité perçue est composée de deux critères liés à la valeur du système ce qui a permis d'identifier des sous-critères permettant d'évaluer l'utilité perçue comme les gains de temps et de productivité. Les sous-critères peuvent aussi être appelés observables puisque ce sont les variables qui sont estimées par des enquêtes (jugement subjectif) ou mesurées (mesure objective d'une performance). La facilité d'usage perçue se décline en aspects liés à l'ergonomie, relative à une facilité d'usage physique ou cognitive, par exemple, la facilité de compréhension d'une interface. L'influence sociale est mesurée par les avis des autres parties prenantes importantes de l'entourage de l'utilisateur. Les conditions liées au contexte sont liées aux facteurs externes à l'organisation, par exemple, des aspects socio-culturels et aux facteurs internes à l'organisation comme la disponibilité des ressources humaines, financières, ou technologiques nécessaires à l'introduction d'une nouvelle technologie ou d'un nouveau produit.

Les critères retenus dans le cadre de l'évaluation peuvent être agrégés dans un indicateur d'acceptabilité. Dans les modèles TAM, TAM2 et UTAUT notamment l'indicateur et prédicteur d'acceptation est l'intention comportementale ou intention d'usage (Davis, 1989 ; Venkatesh et Davis, 2000 ; Venkatesh et al., 2003). Dans notre proposition de cadre d'évaluation, nous appellerons cet indicateur **l'indice d'acceptabilité potentielle (IAP)**. L'IAP est une estimation des chances d'acceptation d'un concept nouveau. Cet indicateur peut fournir aux concepteurs et au chef de projet des éléments pour une meilleure prise de décision. Soit pour choisir un des concepts de solution générés dans la phase de génération des concepts, soit pour améliorer l'un de ces concepts sur les critères jugés faibles dans l'évaluation.

Nous avons également souligné l'importance de prendre en compte les préférences de différentes parties prenantes dans la démarche de conception puisque cela permettra de construire un produit ou service adapté et plus facilement acceptable. L'indicateur IAP est utilisé pour mesurer de façon séparée les niveaux d'acceptabilité des différentes parties prenantes. Nous pouvons ainsi comparer et identifier si une partie prenante est moins satisfaite que les autres. Les critères et les niveaux d'acceptabilité associés pour chaque partie prenante sont différents et il est nécessaire d'identifier les critères à utiliser. Par exemple pour un financeur du projet, les critères d'acceptabilité sont plutôt en rapport avec les aspects économiques et non d'usage puisque il n'interagit pas avec le dispositif.

La visualisation en forme de radar des niveaux des IAP des différentes parties prenantes permet de savoir rapidement si une partie prenante n'est pas satisfaite avec la solution pro-

### 4.3. Proposition d'une démarche d'évaluation de l'acceptabilité

Tableau 4.4 – Critères pour un cadre d'évaluation de l'acceptabilité.

Catégorie	Critère	Sous critère
Utilité perçue	Valeur d'usage	Gain de temps dans l'activité Productivité Facilite le travail Diminution des erreurs dans l'activité Diminution de l'anxiété Traçabilité des actes Dextérité (précision) Autonomie de l'utilisateur
	Valeur d'estime	Image personnel Image de l'organisation Esthétique
Efficiencie		Réduction du coût de l'activité Réduction des dépenses
Facilité d'usage perçue	Ergonomie physique	Diminution des efforts physiques Diminution de la fatigue Douleur musculaire et articulaire Raideur articulaire Diminution des forces musculaires Confort
	Ergonomie cognitive	Bien-être psychologique Facile à comprendre Facile à prendre à main Diminution de la charge de travail mental
Influence sociale		Avis favorable des collègues sur l'usage du système Avis favorable de la hiérarchie Avis favorable de l'entourage
Conditions facilitatrices	Contexte favorable	Politique Technologique Scientifique Socio-culturel Croyance religieuse Démographique Écologique (développement durable) Légal Concurrence Marché
	Interne	Disponibilité des ressources humaines Disponibilité des ressources financières Disponibilité de l'infrastructure pour l'utilisation Disponibilité des assistances techniques Compatibilité avec d'autres systèmes Acceptabilité des subordonnées Formation Information Facilité de maintenance

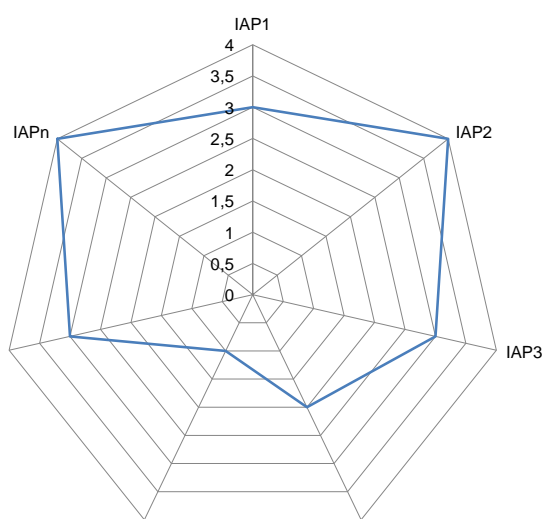


FIGURE 4.8 – Exemple des niveaux IAP pour les différentes parties prenantes.

posée. Le décideur peut donner la priorité aux parties prenantes les plus importantes et le radar permettant un aperçu rapide des niveaux peut l'aider dans la prise de décision des critères à améliorer. La figure 4.8 montre un exemple des niveaux des IAP pour n parties prenantes. Dans l'exemple les niveaux IAP varient entre 0-4.

La visualisation des niveaux IAP permet d'avoir un aperçu des niveaux d'acceptabilité pour les différentes parties prenantes. Cependant pour rechercher les points qui peuvent être améliorés dans la solution, il est nécessaire d'avoir une vision sur les niveaux des critères d'évaluation. Ce qui est possible avec l'outil de modélisation choisi (réseaux bayésiens).

#### Identification des critères

Le cadre d'évaluation que nous avons présenté précédemment sera utilisé dans cette étape. Des modèles d'acceptation de la technologie tels que : le TAM, TAM2, ou UTAUT (Ajzen et Fishbein, 1980 ; Davis, 1989 ; Venkatesh et Davis, 2000 ; Venkatesh et al., 2003) ainsi que la liste proposée auparavant (tableau 4.4) peuvent servir de guide pour définir les critères du modèle d'évaluation. Il est aussi possible de se référer à la littérature du domaine concerné pour trouver des variables supplémentaires. Une fois le modèle construit l'appel à un expert (ou un panel d'experts et de parties prenantes) est envisageable pour aider à le compléter et valider.

Le modèle définit quelles données seront collectées. Il permet également de définir les relations entre les différentes variables. A titre d'exemple, pour une nouvelle application de diagnostic médical, prenons les deux facteurs : « facilité d'utilisation perçue » et « l'utilité perçue ». Nous pouvons définir des éléments pour évaluer chacun de ces critères. L'utilité de l'application médicale réside sur le diagnostic et l'exactitude du diagnostic, de sorte que l'utilité perçue (C1) peut être constituée par « précision du diagnostic » (C1.1) (la perception de la précision du diagnostic de l'appareil par les utilisateurs) ainsi que par d'autres éléments (C1.2 ...). Nous aurons ainsi une grille avec des critères et leurs sous-critères pour évaluer

l'acceptabilité de la solution (cf. tableau 4.5).

Tableau 4.5 – Exemple des critères d'évaluation.

Critère	Sous-critère
Critère 1	Critère 1.1
	Critère 1.2
Critère 2	Critère 2.1
	Critère 2.2
Critère 3	Critère 2.3

Nous devons définir également quelles valeurs peut prendre chaque variable. Cela peut être défini par une échelle de Likert 1-7 par exemple où nous pouvons définir des niveaux : bas, moyen et haut. Les liens entre les critères seront également définis.

Comme nous l'avons présenté précédemment, cette étape s'appuie sur l'utilisation des réseaux bayésiens (RB) pour estimer le niveau d'acceptabilité. Tout logiciel permettant la modélisation de réseaux bayésiens peut être utilisé dans cette étape (BayesiaLab<sup>®</sup>, Netica<sup>®</sup>, GeNie<sup>®</sup>...). Chaque critère est représenté comme un nœud et les liens entre eux (arcs) sont fixés. Le modèle de la figure 4.9 présente un exemple.

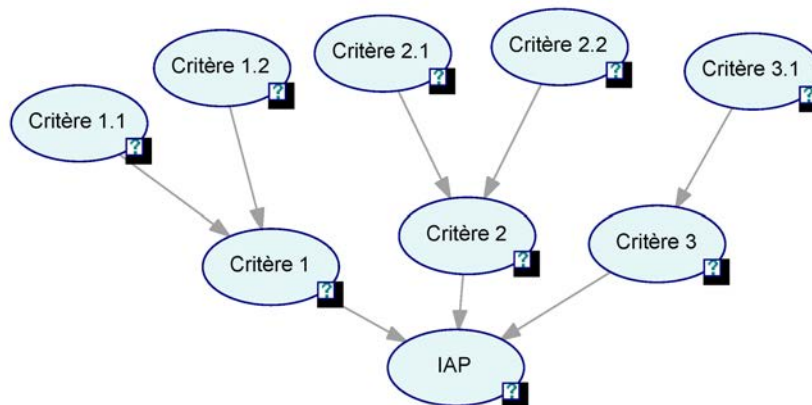


FIGURE 4.9 – Réseau bayésien correspondant au modèle de l'exemple.

### Recueil des données

Deux méthodes de collecte de données peuvent être envisagées : subjectives et objectives.

Les premières sont déclaratives de la part de l'utilisateur. Nous trouvons par exemple les questionnaires auto-administrés ou administrés par un tiers, les interviews individuels, les focus groups, les raisonnements à voix haute pendant l'activité, les raisonnements à voix haute rétrospectifs (après l'activité), le sélecteur des émotions (Laurans, Desmet et Hekkert, 2009).

Dans le deuxième type de méthodes dites objectives ou mesurées, nous trouvons les études d'observation, les mesures physiologiques comme l'électromyographie (EMG), la réponse galvanique de la peau (GSR), l'électroencéphalographie (EEG), la fréquence cardiaque (HR), la température et le taux de respiration qui peuvent permettre l'évaluation du critère d'anxiété par exemple (Zhou et al., 2011). L'avantage de ce type de méthodes est qu'elles produisent des résultats objectifs (Jenkins, Brown et Rutterford, 2009).

Les questionnaires constituent le mode de collecte des données le plus utilisé dans les modèles d'évaluation de l'acceptabilité. Il doit être élaboré pour permettre d'évaluer les critères identifiés dans le modèle. L'échelle de mesure est laissée au choix de l'évaluateur. Pour l'exemple précédent, nous avons choisi une échelle de Likert sur 7 niveaux avec des extrêmes allant de « totalement en désaccord » à « totalement d'accord » (Likert, 1932 ; Sinclair, 2005). L'échelle peut être également divisée en 3 niveaux pour une meilleure compréhension. Par exemple, entre 1-3 le niveau sera considéré comme « bas », entre 3 et 5 le niveau sera « moyenne » et entre 5 et 7 « haut » (cf. figure 4.10). Un indice portant sur l'acceptabilité globale doit être inclus dans le questionnaire. Il servira de score final d'utilité, que nous appelons l'indice d'acceptabilité potentielle (IAP).

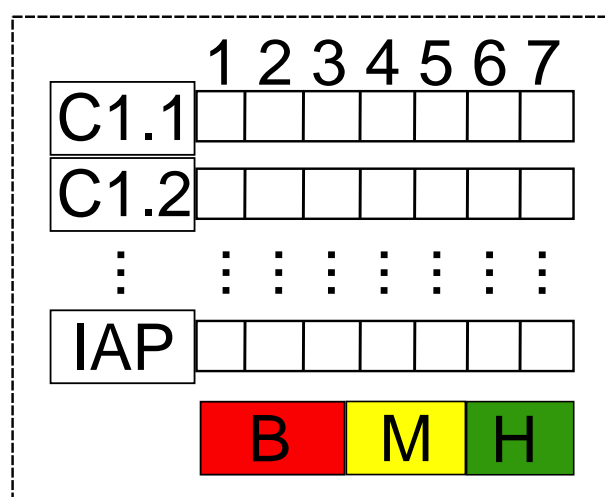


FIGURE 4.10 – Exemple d'échelle d'évaluation pour le questionnaire.

Il est possible d'associer les méthodes subjectives et objectives. Par exemple, parmi les critères identifiés, une partie peut être évaluée par un questionnaire et une autre avec des capteurs.

### Construction des TPC

Une fois les données des tests recueillies, elles seront intégrées dans le logiciel utilisé pour la construction du modèle. Dans le procédé d'exportation, les réponses seront associées à chaque nœud (qui représente chaque critère) et les distributions de probabilités (relations) pour chaque critère seront construites en utilisant un algorithme d'apprentissage de paramètres (Dempster, Laird et Rubin, 1977) (cf. tableau 4.3). Les informations contenues dans les TPC reflètent les poids et les importances de chaque critère en relation avec l'indice d'acceptabilité.



### 4.3.2 Évaluation initiale de l'acceptabilité

Une fois le modèle construit, les relations créées et les données introduites, le RB permettra l'évaluation initiale du niveau d'acceptabilité. Une inférence peut alors être réalisée en utilisant les données recueillies. Selon le niveau obtenu, des décisions peuvent être prises.

- Si le niveau IAP est supérieur à la limite fixée par le chef de projet, le projet peut être lancé et passer à l'étape de développement.
- Sinon, si le niveau est trop bas (3 dans notre exemple) le chef de projet peut arrêter le projet ou retourner en conception pour retravailler la solution.
- Si le niveau est moyen et si le chef de projet considère qu'il peut être amélioré, il peut utiliser le RB pour réaliser des inférences et simulations pour trouver quels critères peuvent être améliorés.

Par exemple, dans la conception d'une application de diagnostic médical, un critère évalué par les utilisateurs pourra être la « précision du diagnostic ». Les concepteurs peuvent simuler dans le modèle d'acceptabilité les différentes réponses des utilisateurs (1 pour diagnostic pas précis et 7 pour diagnostic très précis). La valeur de l'indice d'acceptabilité est observée pour chaque changement de valeur du critère (quelle est la valeur de l'acceptabilité quand le critère « précision du diagnostic » est évalué à 1 ? et à 7 ?). Si ce critère montre une influence importante dans l'IAP (IAP prend une valeur supérieur à 6 quand le critère prend la valeur 7), les concepteurs peuvent donc chercher à améliorer ce critère. C'est-à-dire faire le diagnostic plus précis en améliorant l'algorithme de diagnostic par exemple. Les simulations peuvent être faites pour tous les critères du modèle d'évaluation.

Pour tester la démarche, nous l'avons appliqué dans deux cas industriels que nous présenterons dans la section suivante. Le premier cas concerne le développement d'un logiciel visant à réduire les risques de troubles musculo-squelettiques en rappelant les pauses au travail et en suggérant des exercices. Le deuxième cas correspond au développement d'un dispositif d'aide à l'enfilage des bas de contention médicale pour aider les professionnels soignants dans leur travail.

## 4.4 Cas d'application : Logiciel de pause active

Ce cas correspond à la conception et au développement d'un logiciel pour la prévention des troubles musculosquelettiques (TMS) pour des travailleurs utilisant fréquemment des ordinateurs. Différentes études ont trouvé des corrélations entre l'usage des ordinateurs prolongé et des problèmes de TMS (Chang et al., 2007 ; Cho, Hwang et Cherng, 2012 ; Eijkelhof et al., 2014). En France, l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) conseille des pauses aux employés travaillant avec des ordinateurs pour réduire la fatigue (INRS, 2011). D'autres études montrent que les applications pour rappeler les pauses associées à certains exercices (pauses actives) peuvent aider à prévenir des lésions (Irmak, Bumin et Irmak, 2012 ; Henning et al., 1996). Dans cette optique, une proposition pour un logiciel de pause active (rappel et suggestion des exercices pendant la pause) a été développée. Le concept de solution généré dans la phase de co-conception était assez basique puisqu'il n'était pas fonctionnel afin de réduire les dépenses. Il peut être considéré comme un

prototype de basse fidélité (Lim, Stolterman et Tenenberg, 2008) ou maquette. Nous l'avons utilisé pour tester notre démarche d'évaluation. Dans ce cas, nous pouvons considérer que l'évaluation est insérée dans l'étape d'expérimentation de la génération de concepts.

#### 4.4.1 Construction du RB

Dans cette première phase nous avons construit le réseau bayésien nous servant de modèle d'évaluation.

##### Identification des critères d'évaluation

Le modèle d'évaluation pour ce cas a été construit en suivant le cadre d'évaluation que nous avons présenté précédemment. Pour ce premier test, nous avons décidé de suivre le modèle UTAUT (Venkatesh et al., 2003) comme référence. Le réseau a été modélisé dans le logiciel BayesiaLab. La figure 4.11 montre le modèle et le tableau 4.6 présente la définition et description de chaque nœud.

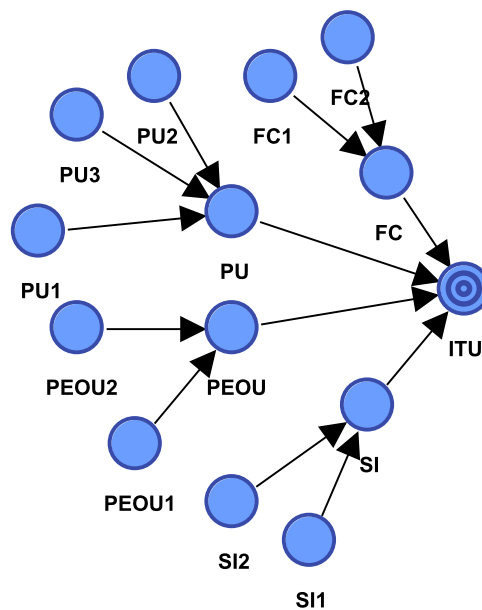


FIGURE 4.11 – Modèle d'évaluation pour le cas du logiciel de pause active.

Dans le modèle nous trouvons les critères d'utilité perçue (PU) et de facilité d'usage perçue (PEOU) puisqu'ils sont de plus forte influence envers l'intention d'usage (prédiction de l'acceptabilité). Le critère d'utilité perçue (PU) du logiciel se décompose en deux facteurs : l'habileté pour aider à réduire les problèmes de TMS (PU1), sa capacité d'aider à minimiser la fatigue pendant l'utilisation prolongée des ordinateurs au travail (PU2) et l'appréciation des utilisateurs sur le fait que le logiciel est utile (PU3). L'appréciation globale de la facilité d'usage (PEOU) est évaluée par la perception de la facilité d'usage du logiciel (PEOU1) et la perception de pouvoir utiliser le logiciel sans aide (PEOU2). Nous trouvons également les critères relatifs aux conditions facilitatrices (FC) et à l'influence sociale (SI) pour évaluer l'influence de l'entourage sur l'utilisateur. Les conditions facilitatrices relatives

Tableau 4.6 – Description de nœuds pour le modèle d'évaluation.

<b>Nœud</b>	<b>Description</b>
<b>PU</b>	<b>Utilité perçue</b>
PU1	Le logiciel aidera à réduire les risques de TMS
PU2	Le logiciel aidera à réduire la fatigue au travail
PU3	Je perçois le logiciel comme utile
<b>PEOU</b>	<b>Facilité d'usage perçue</b>
PEOU1	Je perçois le logiciel comme facile à utiliser
PEOU2	Je serai capable de l'utiliser sans aide
<b>FC</b>	<b>Conditions facilitatrices</b>
FC1	Il sera possible de l'utiliser au travail
FC2	J'aurai le contrôle du logiciel (en arrêtant selon mes besoins)
<b>SI</b>	<b>Influence sociale</b>
SI1	Mes collègues ont un avis favorable
SI2	Mes supérieurs hiérarchiques ont un avis favorable
<b>ITU</b>	<b>Intention envers l'usage</b>

au contexte organisationnel ont été évaluées par la perception des utilisateurs de pouvoir utiliser le logiciel au travail (FC1) ainsi que par la perception du contrôle qu'ils auront sur le logiciel (FC2), par exemple, s'ils pourront arrêter ou mettre en pause le logiciel pendant une réunion. L'influence sociale (SI) a été évaluée par la perception des collègues (SI1) et des supérieurs hiérarchiques (SI2) de l'utilisation du logiciel. Dans ce cas ITU est égale à IAP.

### Recueil des données

Un questionnaire a été construit pour évaluer la perception du produit par les utilisateurs (cf. annexe C). Le questionnaire comporte 10 items que les répondants devaient évaluer sur une échelle de Likert sur 7 niveaux.

Nous avons présenté aux répondants un texte court introduisant et décrivant la solution ainsi que ses fonctionnalités clés. Ils ont également observé une capture d'écran simulant l'interface du logiciel (cf. figure 4.12). L'image présentait un exercice pour la prévention de la fatigue des yeux ainsi que la durée de la pause.

Après avoir observé le stimulus, les utilisateurs devaient répondre au questionnaire. Les personnels dans le monde académique et de la recherche sont exposés à ces risques professionnels parce qu'ils travaillent plus de 2h de suite devant l'ordinateur. Nous avons donc décidé d'explorer l'opportunité prospective de ce logiciel avec les employés d'une école d'ingénieurs à Nancy (environ 51 personnes concernées). Un email a été envoyé en les invitant à participer au test. Nous avons obtenu les réponses de 28 utilisateurs potentiels (15 femmes, 13 hommes ; âgés entre 18-50 ans). 14% des personnes interrogées passent entre 2-4 heures par jour en travaillant à l'ordinateur, 45% passent entre 4-8 heures et 41% passent plus de 8 heures par jour. Une échelle de Likert à 7 niveaux a été utilisée (Sinclair, 2005).

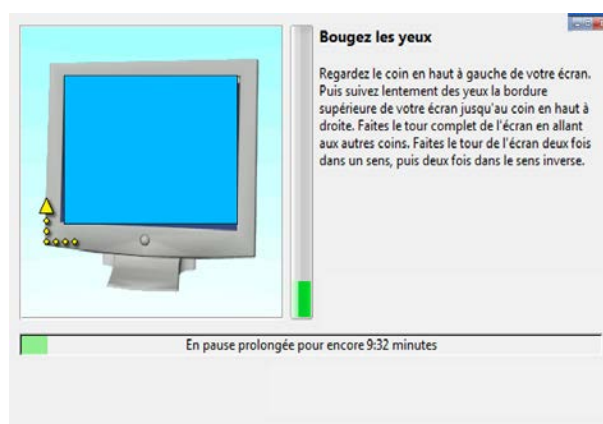


FIGURE 4.12 – Capture d'écran de l'interface proposée par le logiciel de pause active.

### Construction des TPC

Le réseau construit dans le logiciel BayesiaLab a été rempli avec les données recueillies à travers les questionnaires. Les paramètres ont été appris en utilisant l'algorithme EM itératif proposée par Dempster, Laird et Rubin (1977). Les TCP représentent les contributions de chaque critère envers l'IAP. Ces poids sont différents pour chaque critère et sous critère. La précision globale du réseau modélisé est 78,57% (prédiction correcte sur la variable cible).

#### 4.4.2 Évaluation initiale de l'acceptabilité

Les données ont été propagées à travers le réseau en utilisant l'algorithme d'inférence exacte par arbre de jonctions proposé par Huang et Darwiche (1996). La figure 4.13, montre l'évaluation initiale de l'acceptabilité selon les données de l'enquête.

Nous avons constaté que l'intention d'usage (ITU) du logiciel proposé avait une moyenne de 4,6. La répartition des résultats montre que 67,8% des utilisateurs avaient une intention d'usage placée dans le niveau haut (5, 6, 7). Toutefois, ces données seules ne donnent pas suffisamment d'informations utiles aux concepteurs. Pour rechercher les facteurs qui ont une influence importante sur l'intention d'usage (acceptabilité), il faut simuler la variable ITU pour la valeur maximale (7) (voir figure 4.14).

De cette simulation nous avons observé que l'utilité perçue par les utilisateurs (PU3) se déplaçait de 4,786 à 5,667. Dès la construction du modèle, nous savions déjà que ce facteur était lié à la perception que le logiciel pourrait aider à réduire le risque de TMS (PU1) des utilisateurs et qu'il les aidera à minimiser la fatigue au travail (PU2). Ces deux facteurs varient respectivement d'une moyenne de 4,9 à 5,5 et de 4,9 à 5,5.

Les deux facteurs liés à l'influence sociale SI1 et SI2, ont également un impact sur le comportement de l'intention d'usage (ITU) du logiciel. Une simulation de l'influence sociale (SI) au niveau 7 a été faite (cf. figure 4.15). Nous avons constaté que ITU s'est déplacé vers un niveau élevé (ITU = 5,8 et 60,7% des répondants au niveau 7). Cela signifie que les utilisateurs percevant une influence positive des collègues et supérieurs sont plus susceptibles d'avoir une intention positive d'utiliser le logiciel. Inversement, les utilisateurs se rendant compte de la réticence de leurs collègues à l'utilisation du logiciel seraient plus susceptibles

#### 4.4. Cas d'application : Logiciel de pause active

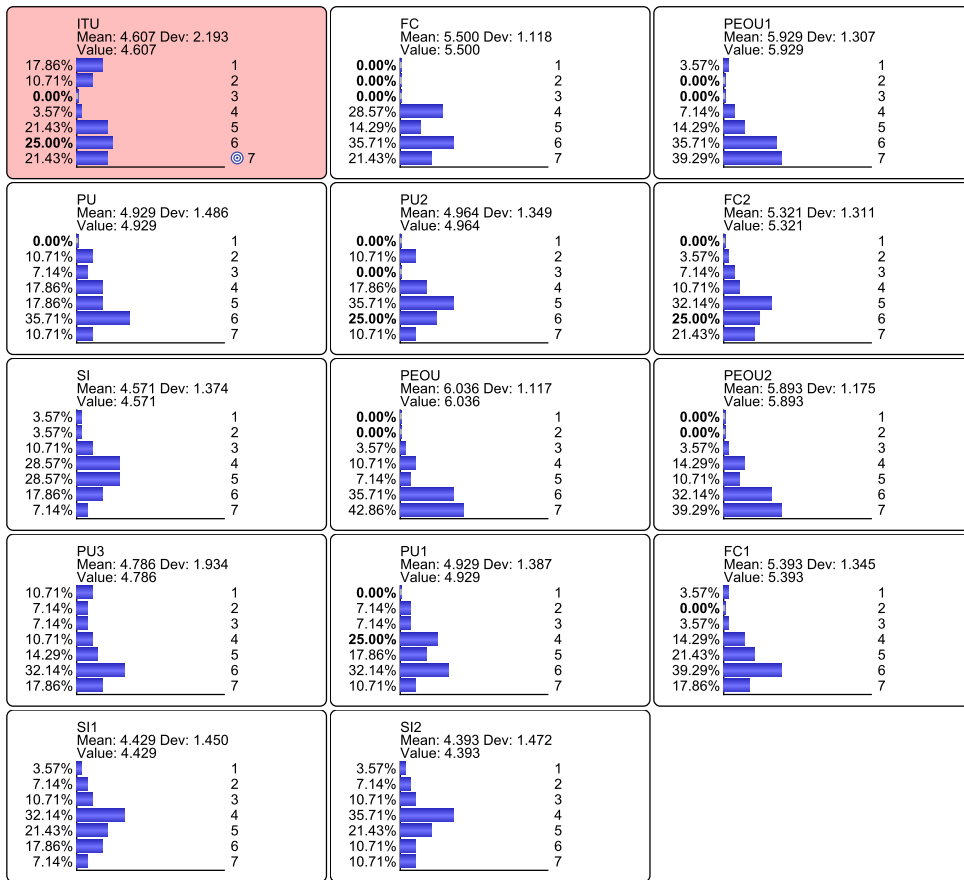


FIGURE 4.13 – Estimation de l'acceptabilité pour le cas du logiciel de pause active.

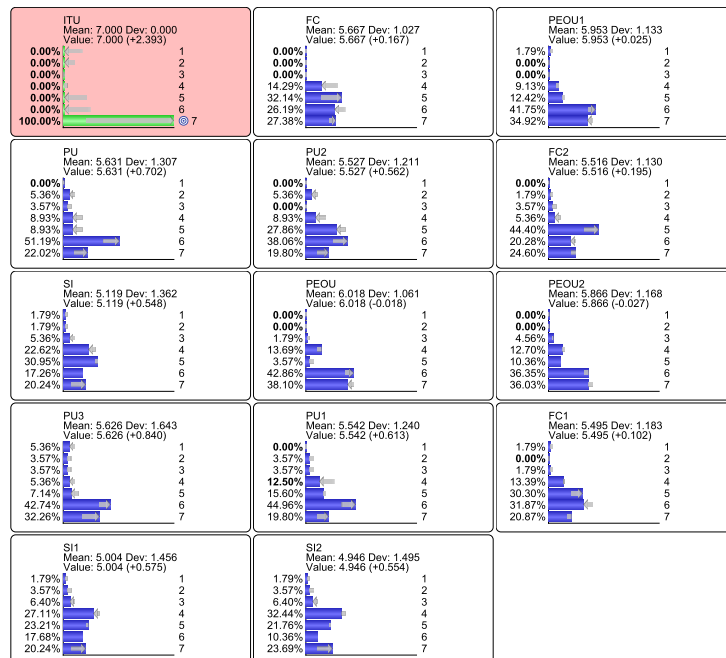


FIGURE 4.14 – Simulation de l'intention d'usage (ITU) à la valeur maximale (7).

de ne pas l'utiliser.

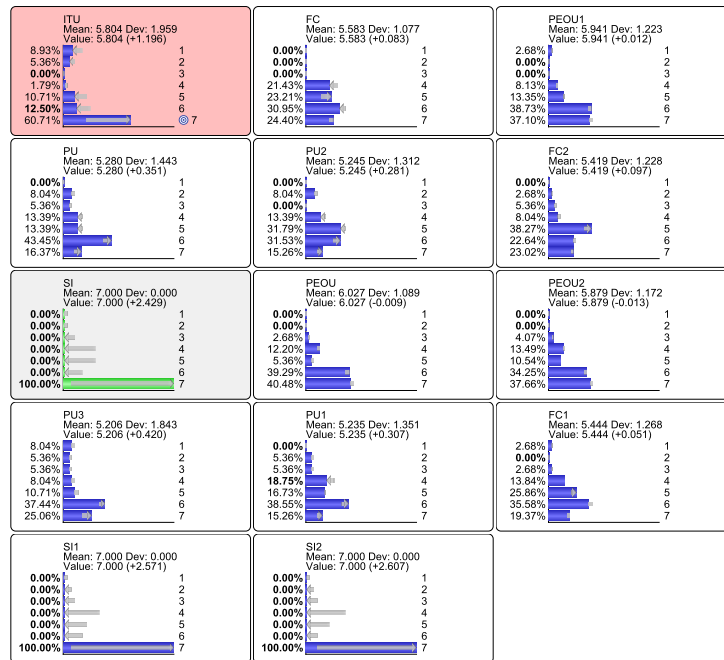


FIGURE 4.15 – Profil de l'influence sociale (SI) au niveau maximal.

Avec les deux observations faites précédemment, deux types d'actions ont été suggérés pour augmenter l'acceptabilité des utilisateurs : des actions destinées à augmenter l'utilité perçue de l'application et des actions pour améliorer l'influence sociale perçue. Le premier type d'actions peut se concentrer sur le point de vue du produit, c'est-à-dire des améliorations apportées au logiciel. Une attention particulière sur la présentation des exercices à faire par les utilisateurs pour réduire les troubles musculosquelettiques est un exemple. Il est également possible de mettre en place des actions de marketing ou de changement organisationnel : le déploiement de logiciel peut s'accompagner de campagnes de formation ou de publicité pour sensibiliser les utilisateurs aux avantages de l'application. D'autres propositions consistent à fournir des statistiques ou des rapports scientifiques des travailleurs souffrant de TMS n'ayant pas pris des mesures préventives.

Le deuxième type d'actions, destiné à améliorer l'influence sociale, est plus lié au changement organisationnel et à la commercialisation. Ce sont des campagnes ou des actions qui vont accompagner le déploiement du logiciel dans l'organisation. Par exemple, les supérieurs peuvent devenir des personnes référentes en utilisant le logiciel. Ils peuvent également choisir quelques utilisateurs clés ou pilotes qui deviendront par la suite des référents. Ces utilisateurs pilotes pourront convaincre et encourager d'autres collègues à utiliser le logiciel (Berchet et Habchi, 2005 ; Moitra, 1998). L'identification de décideurs référents dans une entreprise peut devenir un exemple réussi qui pourra être présenté pour convaincre lors de la promotion du produit dans d'autres structures.

## 4.5 Cas d'application : Dispositif d'enfilage de bas de contention médicale

Nous présentons dans cette section le deuxième cas concernant le développement d'un nouveau produit (Ombistocking par Belovia) destiné à faciliter l'enfilage des bas de contention pour les personnes âgées en EHPAD (Établissement d'hébergement des personnes âgées dépendantes). Le produit s'adresse principalement aux infirmiers/infirmières et aides-soignant(e)s dans les EHPAD qui doivent répéter la tâche d'enfilage plusieurs fois par jour sur différents patients. L'effort musculaire requis étant reconnu comme une source de TMS le dispositif vise à réduire cet effort sans perturber le geste réalisé puisque cet acte est aussi un moment d'échange entre le patient et le soignant.

Dans ce cas, plusieurs expérimentations avec le concept initial avaient déjà été réalisées pour le tester. Le prototype que nous avons utilisé était déjà plus évolué. Nous pouvons donc considérer que l'évaluation a eu lieu après les phases d'expérimentation et juste avant la prise de décision pour le passage au développement.

### 4.5.1 Construction du RB

Dans cette première phase les modèles d'évaluation et les instruments de recueil des données ont été construits.

#### Identification des critères d'évaluation

Le modèle d'évaluation de l'acceptabilité du produit a été construit en utilisant la démarche que nous avons présentée dans la section précédente. Le modèle UTAUT a également été utilisé comme référence (Venkatesh et al., 2003). Les facteurs d'influence sociale et de conditions facilitatrices ont été pris en compte pour évaluer le contexte d'utilisation. La figure 4.16 montre le modèle d'acceptabilité développé pour évaluer ce produit et le tableau 4.7 montre la description des nœuds. Le modèle pour ce cas a été réalisé avec le logiciel GeNie<sup>®</sup>, puisque ce logiciel est lié à une librairie (SMILE) permettant de traiter et raisonner avec les RB.

Nous pouvons observer quelques différences avec le modèle du cas précédent. La première est que les sous-critères (c'est à dire les nœuds qui composent les critères) sont différents puisque les deux modèles ne visent pas la même utilité. La deuxième différence est que les critères d'image et sonorité sont rajoutés. Étant un produit destiné à être inséré dans un contexte organisationnel, l'image perçue est un critère important à prendre en compte (Venkatesh et al., 2003). Le critère de sonorité a été rajouté par les experts puisqu'il semblait être un facteur perturbateur sur lequel le groupe de conception voulait avoir une évaluation du prototype. Le modèle d'évaluation comporte donc cinq catégories principales des critères : Utilité perçue (PU), Image perçue (IM), Facilité d'usage perçue (PEOU), Sonorité perçue (CO) et Influence sociale perçue (SI). Chaque catégorie est composée par différents sous-critères. L'Utilité perçue (PU) est liée avec les fonctionnalités du produit. Dans la catégorie Facilité d'usage perçue (PEOU) sont regroupés les critères liés à la compatibilité et la complexité du produit. La nouveauté perçue est associée à la catégorie d'image perçue (IM).

#### 4.5. Cas d'application : Dispositif d'enfilage de bas de contention médicale

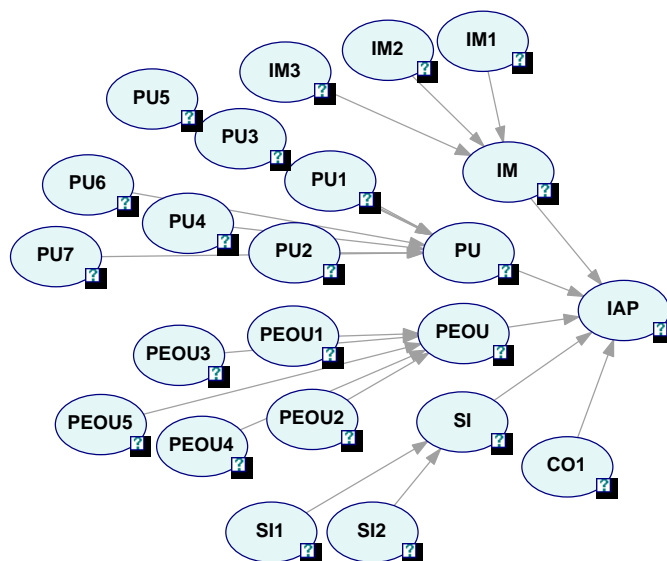


FIGURE 4.16 – Modèle d'évaluation pour le cas de dispositif d'enfilage de bas de contention.

Tableau 4.7 – Description des nœuds pour le deuxième cas d'application.

	Nœud	Description
Utilité perçue	PU1	Facilite l'enfilage
	PU2	Facilite votre travail
	PU3	Réduit les effets indésirables pour les patients (écorchure,...)
	PU4	Réduit les risques de problèmes musculosquelettiques
	PU5	Réduit l'anxiété des patients
	PU6	Réduit votre anxiété
	PU7	Augmente l'observance du traitement
Image perçue	IM1	Améliore votre image professionnel
	IM2	Améliore l'image de l'établissement
	IM3	L'esthétique du dispositif est adéquate (couleur, forme ...)
	PEOU1	Réduit la fatigue liée à l'enfilage
Facilité d'usage perçue	PEOU2	Réduit les douleurs musculaires et articulaires liées à l'enfilage
	PEOU3	Diminue la raideur articulaire liée à l'enfilage
	PEOU4	Diminuer les forces musculaires requises lors de l'enfilage
	PEOU5	Rend l'enfilage plus confortable
	Sonorité perçue	CO1
Influence sociale perçue	SI1	Mes collègues seront favorables à l'utilisation de ce dispositif
	SI2	Ma hiérarchie sera favorable à l'utilisation de ce dispositif



Finalement, étant un produit destiné à l'usage dans le contexte d'un EHPAD, les opinions des infirmier(e)s, aide-soignant(e)s et managers sont importantes. Elles sont évaluées dans les critères d'influence sociale perçue (SI). Tous les critères influencent l'indice d'acceptabilité potentiel (IAP).

Le modèle d'évaluation a été validé par les concepteurs, ainsi que par les infirmier(e)s, les cadres de santé et une ergothérapeute de l'EHPAD.

### Recueil de données

Dans l'étape de collecte des données, plusieurs instruments ont été utilisés (cf. annexe D). Nous avons développé une grille d'observation et un questionnaire pour évaluer chaque critère du modèle sur une échelle de Likert de 1-7.

La première partie de la collecte des données a consisté à accompagner pendant une matinée quelques aides-soignantes dans un EHPAD pendant l'utilisation de dispositif avec les patients de l'établissement (cf. figure 4.17). La grille d'observation a permis d'analyser le comportement de l'utilisateur et du patient pour identifier des gestes ou expressions pouvant exprimer peur ou anxiété. Après l'utilisation du dispositif les aides-soignantes devaient remplir le questionnaire.

A la fin de la journée et après que le questionnaire a été rempli par chaque utilisateur, nous avons réalisé une réunion de groupe avec les aides-soignantes ainsi que les cadres de santé de l'établissement. La réunion avait pour objectif de collecter des avis et observations sur le dispositif ainsi que d'éventuelles propositions d'améliorations.



FIGURE 4.17 – Test du prototype avec les utilisateurs.

### Construction des TPC

Une fois les données des tests recueillies, nous avons associé les résultats à chaque critère du modèle d'évaluation c'est-à-dire à chaque nœud. En utilisant un algorithme d'apprentissage des paramètres (Dempster, Laird et Rubin, 1977) les informations ont été propagées parmi les nœuds.

### 4.5.2 Évaluation initiale de l'acceptabilité

Une fois les données intégrées dans le réseau bayésien, l'évaluation initiale d'acceptabilité a été réalisée. D'après l'évaluation de l'IAP (cf. figure 4.18), les utilisateurs ont apprécié le dispositif avec un niveau moyen de l'IAP de 4,9 sur une échelle de 7. Nous pouvons également observer les niveaux des autres facteurs.

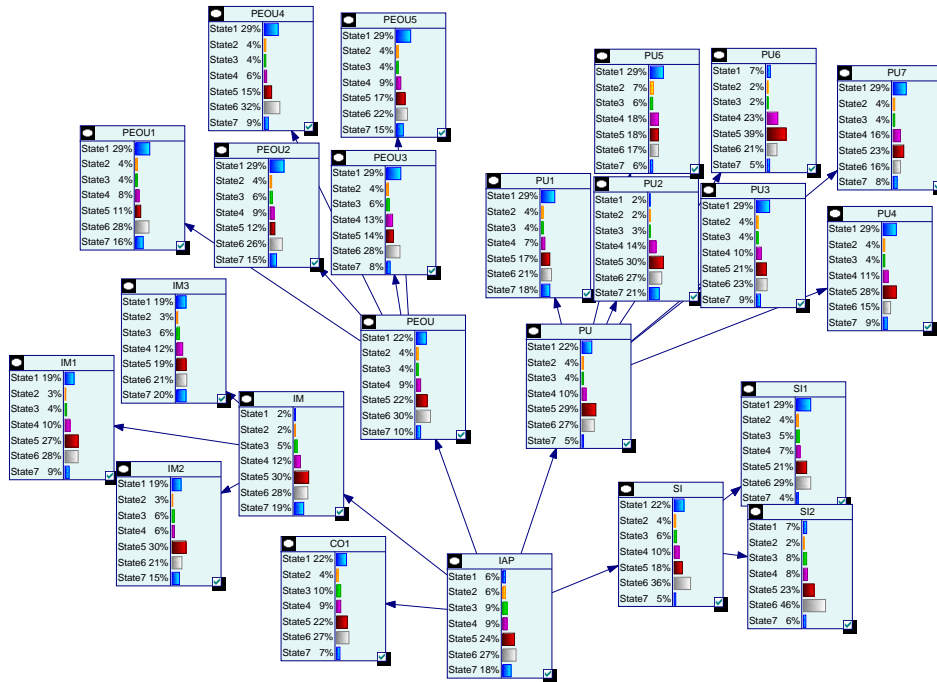


FIGURE 4.18 – Évaluation initiale pour le cas.

Le niveau IAP étant 4,9, il pouvait être amélioré. L'équipe a décidé de réaliser des simulations pour chercher quels critères pouvaient être améliorés. Une première simulation a été réalisée en mettant l'état de l'IAP à niveau Haut 6. Nous pouvons observer les résultats dans la figure 4.19.

Nous constatons que les niveaux des critères s'orientent vers le niveau haut. Le critère SI (influence sociale) par exemple montre une tendance vers le niveau haut (4,88 en moyenne) et le niveau 6 avec 60%. Nous avons décidé d'explorer davantage le comportement de ce critère, c'est à dire savoir comment change le comportement de l'IAP avec un niveau haut de la variable SI. Pour cela nous avons réalisé une inférence avec la variable SI = 7. La figure 4.20 présente le résultat.

Nous avons observé que le niveau des différents critères ne changeait pas considérablement mais le niveau de l'IAP augmente vers 7. Cela implique que le critère d'influence sociale est très important pour augmenter l'acceptabilité des utilisateurs. L'équipe de conception devait donc chercher des actions à mettre en place pour augmenter l'influence sociale perçue par les futurs utilisateurs. Par exemple, en impliquant les personnes de la direction dans la communication du dispositif, les utilisateurs vont percevoir une influence positive de leurs supérieurs augmentant ainsi leur acceptabilité.

#### 4.5. Cas d'application : Dispositif d'enfilage de bas de contention médicale

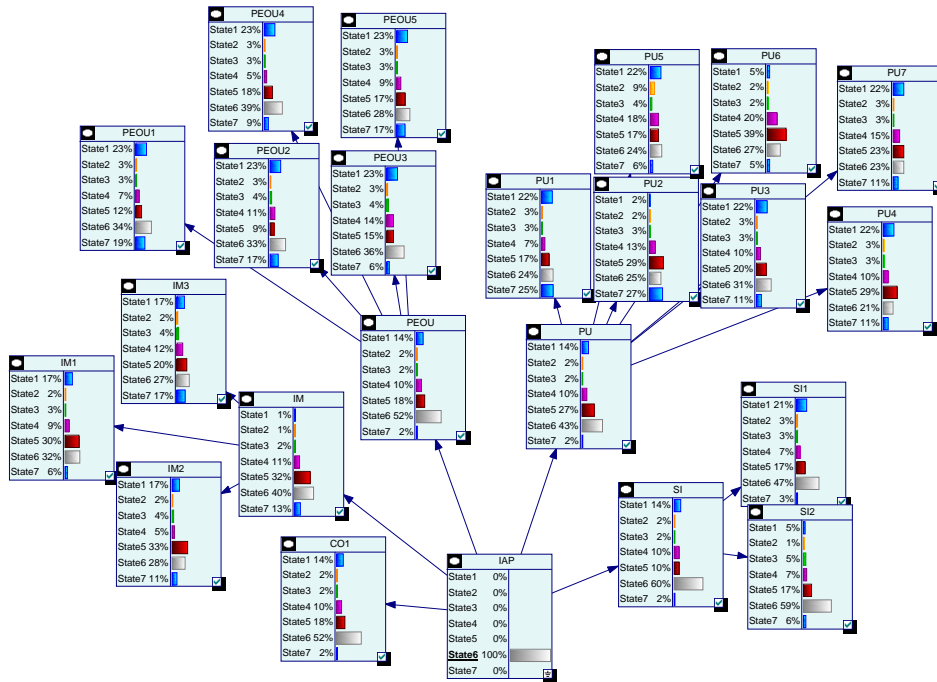


FIGURE 4.19 – Inférence du niveau IAP = 6.

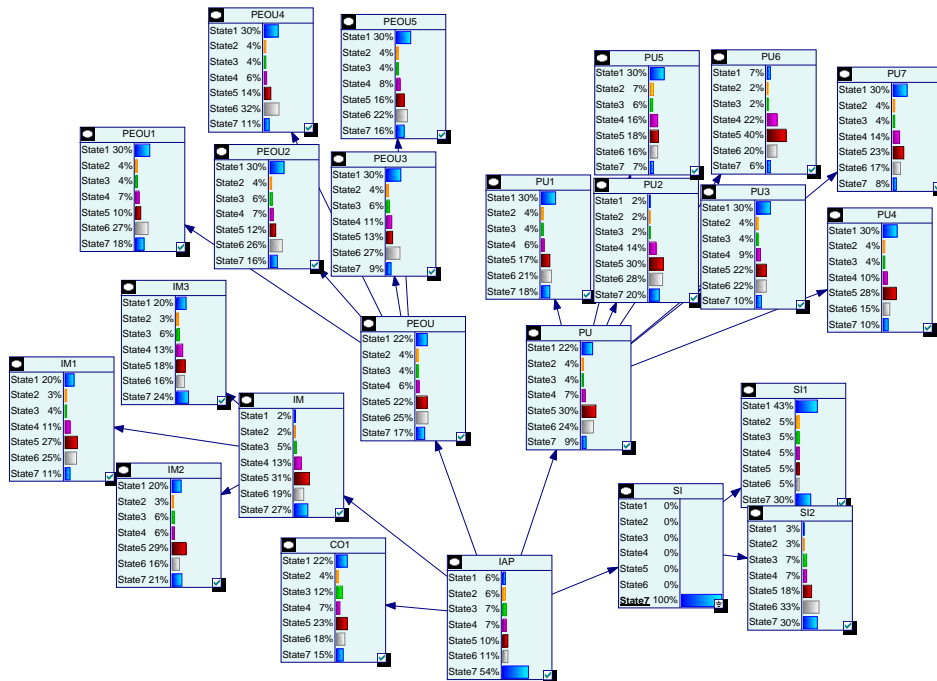


FIGURE 4.20 – Inférence du niveau SI = 7.

Bien que l'IAP permette l'estimation du niveau d'acceptabilité et que le réseau bayésien permet de simuler différents niveaux de critères, des difficultés peuvent survenir quand le nombre des critères est important. Nous devons donc trouver comment améliorer la recherche de scénarios d'amélioration.

## 4.6 Critères spécifiques dans le domaine de la santé

Grâce à la revue de la littérature et de notre expérience sur le terrain, nous pouvons formuler des préconisations d'emploi de la méthode proposée au domaine de la santé.

Dans la section 4.3.1 nous avons introduit un cadre d'évaluation contenant différents critères d'évaluation. Nous avons retrouvé d'autres critères qui peuvent être ajoutés pour les cas du domaine de la santé et en fonction des projets. Le tableau 4.8 présente ces critères spécifiques au domaine de la santé.

Tableau 4.8 – Expansion du cadre d'évaluation avec des critères spécifiques au domaine de la santé.

Catégorie	Critère	Sous critère
Utilité perçue	Valeur d'usage	Gain de temps pour les patients
		Amélioration du diagnostic, traitement
		Diminution des effets indésirables
		Diminution des complications des malades
		Diminution des complications des personnels soignants (PS)
		Diminution de l'anxiété des malades
		Diminution de l'anxiété des proches
		Prévention des complications
Observance du traitement		
Efficiencie		Réduction de la durée d'hospitalisation
Facilité d'usage perçue	Ergonomie physiologique	Diminution des efforts physiques à déployer par les patients
		Diminution de la fatigue des patients
		Douleur musculaire et articulaire des PS
		Raideur articulaire des malades
		Diminution des forces musculaires des malades
	Ergonomie cognitive	Confort des patients
		Bien-être psychologique des patients
Pertinence sociale		Opinion favorable des autres malades
Éthique		Protection de la vie privée
		Respect de l'intimité
		Maintien des contacts humains avec l'entourage et/ou PS
Contexte	Interne	Existence de moyens d'asepsie

Les critères permettent d'étendre le cadre et présentent des facteurs spécifiques au domaine de la santé. Nous constatons que dans les critères affectant la catégorie d'utilité perçue, les aspects liés au traitement et diagnostic seront évalués en fonction du produit. Dans l'utilité, la diminution des complications peut être bien perçue par le patient et le personnel soignant. Au niveau de la facilité d'usage perçue, nous retrouvons des critères associés à la diminution des efforts requis par le personnel soignant et le patient lors de l'utilisation

des dispositifs médicaux. C'est par exemple le cas d'un dispositif de traitement qui requiert une position peu confortable du patient. Nous avons introduit la catégorie éthique, puisque comme nous l'avons déjà exprimé, dans ce domaine nous traitons avec des êtres humains et nous ne pouvons pas tester des produits pouvant compromettre leur santé, ce qui est immoral mais également illégal (*Code de la santé publique titre II : recherches biomédicales*).

Nous soulignons que la proposition de critères génériques à prendre en compte est une aide, un guide pour l'évaluation mais elle n'est pas figée. En effet, chaque projet est unique, chaque produit est différent, et il existe forcément des critères spécifiques pour chacun.

L'autre point important que nous avons constaté dans l'application de la démarche est au niveau du recueil, stockage, exploitation et diffusion des informations. Il faut être attentif à la sensibilité des données concernant les patients ainsi qu'aux problèmes liés aux risques de santé des personnes. En effet, en France, la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) l'autorité chargée de veiller à ce que l'informatique soit au service du citoyen et qu'elle ne porte atteinte ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés. Le recueil et l'utilisation des données des patients doivent être effectués dans les conditions déterminées par la loi, dans l'intérêt du patient (assurer son suivi médical, faciliter sa prise en charge par l'assurance maladie obligatoire) ou pour les besoins de la santé publique.

A la différence du domaine industriel où on peut installer des capteurs pour recueillir des données ou de domaines dans lesquels les produits ne posent pas de risques pour l'utilisateur (logiciel par exemple), dans le domaine de la santé, la priorité est donnée à la sécurité et la santé du patient quand on imagine des tests des produits. Le test des solutions médicales qui fournissent des traitements ou diagnostics est un secteur hautement régulé et pose également des conflits éthiques (Pinto, Cleren et Blum, 2010). Cela peut compliquer la possibilité de tester rapidement des prototypes, il faut principalement s'assurer de ne pas avoir des risques pour les participants au test et d'acquiescer les autorisations nécessaires auprès des comités de protection des personnes. D'autre part, l'implication du personnel est une façon efficace de s'assurer de leur accord avec les tests et d'utiliser leur expérience pour identifier des risques potentiels.

## 4.7 Conclusion

Ce chapitre propose un cadre de modélisation nécessaire pour l'évaluation de l'acceptabilité. Ce cadre de modélisation est composé des critères nécessaires à l'évaluation et s'appuie sur le formalisme des réseaux bayésiens permettant la modélisation et l'exploitation du modèle de critères. Après la présentation du cadre, nous avons testé la démarche d'évaluation à travers deux études de cas. La démarche exploite les réseaux bayésiens pour réaliser une évaluation du niveau d'acceptabilité grâce aux données recueillies par différents moyens (questionnaires, entretiens, observations,...) et ensuite des simulations des scénarios d'amélioration du niveau obtenu.

La contribution proposée dans ce chapitre combine des concepts de l'ergonomie et une technique de l'intelligence artificielle pour évaluer l'acceptabilité. Pour obtenir une validation de cette proposition par des experts en ergonomie, nous avons soumis un article couvrant une partie de ces travaux à la revue *International Journal of Industrial Ergonomics*. Cet

article vient d'être publié (Arbelaez Garces, Rakotondranaivo et Bonjour, 2016a).

La démarche d'évaluation proposée complète les approches existantes permettant l'estimation d'un indice d'acceptabilité potentielle. Elle permet aux concepteurs d'identifier et maîtriser la complexité liée aux facteurs d'acceptabilité. Les relations identifiées permettent aux concepteurs d'analyser le modèle et de chercher des stratégies d'amélioration de leur produit.

La démarche proposée exploite les propriétés d'inférence des réseaux bayésiens pour la modélisation des critères. Comparée à la proposition de Luo, Su et Lee (2011), la démarche que nous avons proposée nécessite moins de données. Le test du produit peut être réalisé avec peu d'utilisateurs, ce qui permet aux concepteurs d'évaluer et de modifier rapidement leur solution. Cette possibilité contribue aux cycles de conception rapide, approche cohérente avec un management de projet agile.

Nous avons également voulu rendre explicites les relations entre les différents critères comme dans la proposition de Camargo, Wendling et Bonjour (2014). Par ailleurs, nous avons montré avec le réseau bayésien les possibilités d'estimation des effets de changement dans ces critères permettant ainsi aux concepteurs de simuler différents scénarios.

Avec les deux cas d'étude, nous avons constaté que les implications de conception et les stratégies d'amélioration de l'acceptabilité sont variées. Les décideurs peuvent trouver un compromis entre les modifications apportés au produit et la mise en œuvre de stratégies de déploiement (e.g. formation des utilisateurs, des agents de maintenance).

La démarche d'évaluation et d'amélioration de l'acceptabilité a été testée sur un autre cas, en milieu industriel, pour la définition d'un nouveau système de gestion de relations avec les clients (CRM). Ce travail a été réalisé par une étudiante de Master 2 MIDI (Management de l'Innovation et du Design Industriel) pour le fabricant des verres optiques BBGR (Meyer, 2015). Ce transfert de connaissances montre que cette démarche est pertinente sur différents cas industriels et que des ingénieurs peuvent se l'approprier facilement.

Une limite de la démarche proposée est liée à la dépendance aux tests des utilisateurs. Par exemple, dans le premier cas, les utilisateurs avaient de l'expérience avec un produit similaire. Ils pouvaient facilement se projeter dans la situation d'utilisation. Nous pouvons donner plus de valeur à leurs réponses. Ceci est similaire aux tests de concepts dans les études de marché et est adapté à des projets d'innovation incrémentale. Dans le second cas les utilisateurs n'avaient pas ou que peu d'expérience avec des produits similaires. Le stimulus utilisé dans l'évaluation du concept a été un prototype de fidélité faible. Cette situation a une certaine similitude avec les études prospectives dans les études de marché relatives aux innovations radicales. Sauer et Sonderegger (2009) et Sauer, Seibel et Rüttinger (2010) ont étudié la relation entre l'expérience des utilisateurs et le niveau de maturité (fidélité) du prototype sur les tests d'usage. Bien qu'ils montrent que les prototypes de fidélité basse sont généralement adaptés pour prédire la facilité d'utilisation de l'utilisateur, dans le cas des innovations radicales comme celle montrée dans le second cas, il serait nécessaire de mélanger des stratégies appropriées entre le niveau d'expérience des utilisateurs et la maturité du prototype afin de s'assurer qu'ils sont bien en mesure de se projeter dans la situation d'usage (Roland Ortt, Langley et Pals, 2007). D'autres recherches pourraient explorer différentes stratégies pour les tests de l'utilisateur ; on peut considérer par exemple l'utilisation de sondages sur le Web tels que proposés par Cho et al. (2011).

La recherche d'améliorations reste une étape compliquée et peu structurée dans la dé-

marche. Faire des simulations de tous les critères et toutes les possibilités requiert beaucoup de temps. Dans le chapitre suivant nous proposerons un algorithme d'optimisation qui permettra la recherche optimale des scénarios d'amélioration de façon automatique selon des paramètres de préférence (coût, niveau d'acceptabilité, niveaux des critères). Cela permettra au chef de projet de comparer les scénarios d'amélioration trouvés et de choisir le scénario le plus adapté.

# Chapitre 5

## Recherche des actions d'amélioration de l'acceptabilité

### Sommaire

---

<b>5.1</b>	<b>Algorithme d'optimisation par le recuit simulé</b>	<b>110</b>
<b>5.2</b>	<b>Proposition d'une démarche d'optimisation</b>	<b>111</b>
5.2.1	Amélioration de l'acceptabilité	112
<b>5.3</b>	<b>Cas d'application</b>	<b>117</b>
5.3.1	Amélioration de l'acceptabilité	117
<b>5.4</b>	<b>Performances de l'algorithme</b>	<b>123</b>
<b>5.5</b>	<b>Stratégies d'optimisation</b>	<b>126</b>
<b>5.6</b>	<b>Priorités selon les parties prenantes</b>	<b>128</b>
<b>5.7</b>	<b>Conclusion</b>	<b>130</b>

---



L'identification et l'analyse des besoins et des perceptions des futurs utilisateurs sont fondamentales dans un projet d'innovation. Les approches de conception centrées utilisateurs (*user-centered design*) et les Livings Labs ainsi que tous les systèmes d'innovation ouverts (*open innovation*) promeuvent l'intégration de l'utilisateur à travers le processus de conception (Chesbrough, 2003 ; Camargo et al., 2012). Un nombre croissant d'entreprises adoptent des stratégies de co-conception afin de minimiser les risques dans le développement de nouveaux produits (Durugbo, 2014). Cela nécessite de mesurer la satisfaction des utilisateurs (Jiang et al., 2015). La mesure de satisfaction est souvent située tardivement dans les phase en aval d'un projet mais pas pendant la phase amont de la conception. Un projet de développement de nouveaux produits (NPD) réussi doit tenir compte des facteurs humains, technologiques et du contexte (Usmanij, Khosla et Chu, 2013). Dans cette perspective, un indice sur les possibilités de succès du produit tel que l'IAP que nous avons présenté dans le chapitre précédent se révèle être d'un grand intérêt. Identifier et évaluer l'indice d'acceptabilité nécessitent un modèle et une méthode appropriés, ce que nous avons décrit dans le chapitre 4. Ils permettent d'avoir une vision globale des différents critères pour évaluer l'acceptabilité et d'analyser différents scénarios pour améliorer le produit.

L'identification et la comparaison des actions d'amélioration ne sont pas des tâches simples parce qu'il est difficile de trouver l'équilibre entre l'introduction des actions permettant l'amélioration du niveau d'acceptabilité et l'augmentation du budget du projet lié aux coûts associés à ces actions (Alsawalqah, Kang et Lee, 2014). Dans ce chapitre nous allons considérer le problème d'amélioration du niveau d'acceptabilité comme un problème d'optimisation. Elle aidera à sélectionner les actions d'amélioration les plus appropriées selon la stratégie choisie par le chef de projet.

## 5.1 Algorithme d'optimisation par le recuit simulé

Le recuit simulé (*simulated annealing SA*) (Kirkpatrick, Gelatt et Vecchi, 1983) est une technique robuste capable de fournir des solutions optimales pour les problèmes d'optimisation à simple ou multiple objectif(s) avec un temps de calcul qui n'augmente pas exponentiellement. Le recuit simulé est fréquemment utilisé pour des problèmes d'optimisation de grande taille. Lorsqu'un nombre fini d'itérations est réalisé, l'atteignabilité de l'optimum global n'est pas garanti mais les résultats empiriques montrent qu'il est possible d'obtenir une solution très proche de l'optimum global, et ce en un temps « raisonnable ». L'idée sous-jacente de l'heuristique du SA provient d'une analogie avec certains processus thermodynamiques (fondu et refroidissement d'un solide). Kirkpatrick, Gelatt et Vecchi (1983) ont été les pionniers dans l'utilisation de cette technique pour de problèmes d'optimisation combinatoire. Pour un problème générique de la forme  $\min F(x)$  avec  $x \in X$  ; le principe de l'heuristique peut être décrit comme suit. Partant d'une solution actuelle  $x$  trouvée de façon aléatoire, une autre solution  $y$  est choisie de façon aléatoire parmi le voisinage de  $x$ . Si cette nouvelle solution améliore la valeur de la fonction objectif  $F(x)$  alors  $y$  remplace  $x$  comme la nouvelle solution actuelle. Dans le cas contraire, la nouvelle solution  $y$  est acceptée avec une probabilité qui diminue avec l'ampleur de la détérioration du cours d'itérations. Cette probabilité prend généralement la forme de la fonction de Boltzman  $e^{-\Delta F(x)/T}$ , dont  $T$  est la température actuelle et  $\Delta F(x)$  est la différence entre la solution actuelle et la meilleure

solution connue. La figure 5.1 illustre un parcours dans lequel un minimum local est rencon-

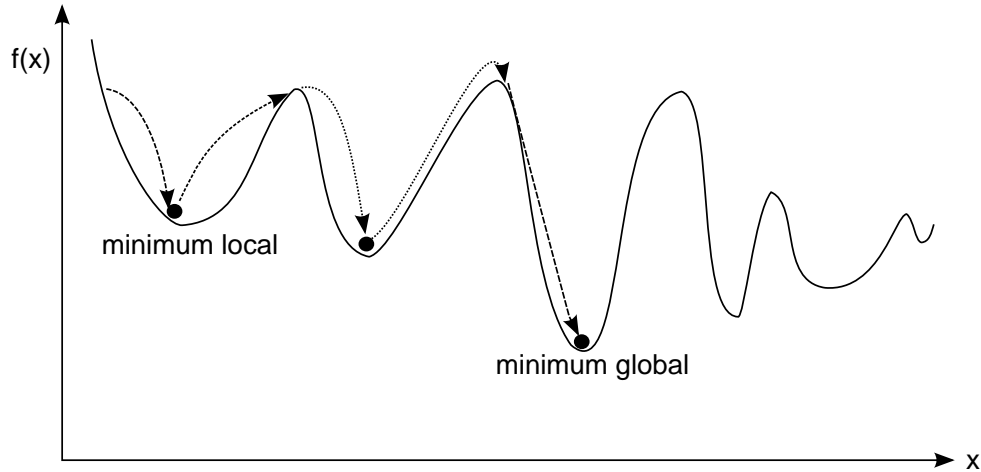


FIGURE 5.1 – Recherche des minima dans le recuit simulé.

tré, l'algorithme arrive à échapper à son voisinage en acceptant des configurations avec une fonction objectif « pire » que le minimum local ce qui permet de traverser l'espace de solution jusqu'à trouver le minimum global. Vers la fin des itérations, l'algorithme reste dans la zone du minimum trouvé. Le lecteur intéressé sur cette technique peut consulter (Pirlot, 1996 ; Delmas et Jourdain, 2006).

Le recuit simulé a déjà fait preuve d'utilité pour les problèmes d'optimisation dans la conception technique (Lee et Wang, 1992) ainsi que pour l'évaluation des risques (Bouaziz, Zamaï et Duvivier, 2013). L'utilisation d'un algorithme d'optimisation par recuit simulé pour choisir parmi les scénarios définis avec un réseau bayésien a été abordée auparavant par Lu et Liechty (2007). Leurs travaux comparent une approche d'optimisation linéaire avec une approche d'optimisation par recuit simulé pour la sélection d'un portefeuille financier. Cependant, à notre connaissance il n'existe pas de travaux qui ont exploré le problème d'optimisation des actions d'amélioration du niveau d'acceptabilité d'un produit.

## 5.2 Proposition d'une démarche d'optimisation

L'objectif de la démarche d'évaluation de l'acceptabilité que nous avons proposée dans le chapitre précédent est double : contribuer à la validation du processus de conception en estimant l'acceptabilité du nouveau produit et identifier la combinaison optimale des actions permettant d'améliorer le niveau évalué. Une fois l'évaluation initiale réalisée, l'approche proposée aide le chef de projet dans l'évaluation des différentes actions d'amélioration.

La figure 5.2 présente l'étape de la démarche d'amélioration.

Nous observons que l'IAP est l'élément de décision à la sortie de la phase d'évaluation initiale. Nous avons considéré que sur une échelle de 1-7, si le niveau IAP est haut (plus grand que 6) le projet peut passer à la phase de développement. Dans le cas contraire, si le niveau est trop bas (moins que 3) le chef de projet doit décider entre arrêter le projet ou retravailler

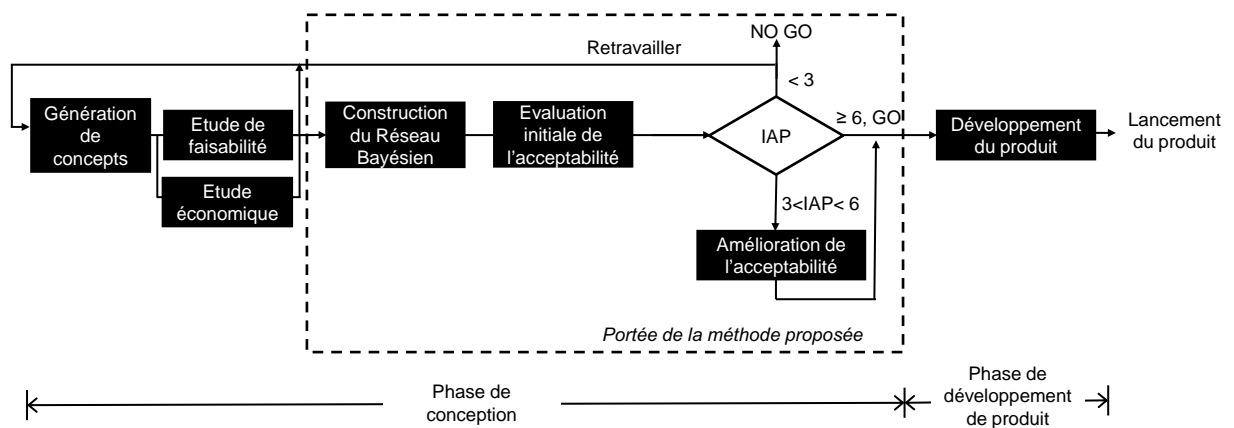


FIGURE 5.2 – Étapes de la démarche d'optimisation.

la solution en revenant à la phase de génération de concepts (idéation/exploration). Si le niveau est moyen (entre 3 et 6), le chef de projet peut envisager la phase d'amélioration de l'acceptabilité. Ces valeurs sont ici arbitraires et peuvent être redéfinies au sein de chaque entreprise. Différentes stratégies d'optimisation sont possibles, elles seront présentées dans la partie 5.5. Nous avons choisi une stratégie particulière pour illustrer la démarche.

### 5.2.1 Amélioration de l'acceptabilité

L'objectif de cette phase peut s'exprimer ainsi : à partir d'une liste d'actions permettant d'améliorer l'IAP, sélectionner le sous-ensemble optimal d'actions d'amélioration qui permet d'atteindre un niveau d'acceptabilité souhaité tout en minimisant le coût supplémentaire des actions concernées (stratégie d'optimisation retenue ici).

**Structure générale de l'approche :** Pour cette phase, nous avons créé un système qui reçoit une liste d'actions, une liste de critères, des instances de critères (réponses aux questionnaires, résultats des tests) et qui fournit comme résultat la liste optimale des actions à mettre en place pour arriver au niveau d'acceptabilité souhaité. La figure 5.3 présente la structure interne du système.

**Hypothèses de modélisation :** Lorsque nous visons à améliorer le niveau d'acceptabilité nous avons besoin de savoir quelles actions parmi les possibles sont les meilleures. Chaque action est définie par son coût d'exécution (en €) et sa contribution à l'amélioration ou à la dégradation de chaque critère. La relation entre les actions et les critères est supposée être modélisée comme un delta de la contribution de l'action sur chaque critère. Nous avons fait l'hypothèse que le coût d'une action n'est pas lié à la contribution de celle-ci à l'acceptabilité. C'est-à-dire que l'action la plus chère n'est pas forcément la meilleure. Nous faisons aussi une hypothèse d'additivité dans les effets des actions (dit autrement, les contributions de plusieurs actions sont cumulées).

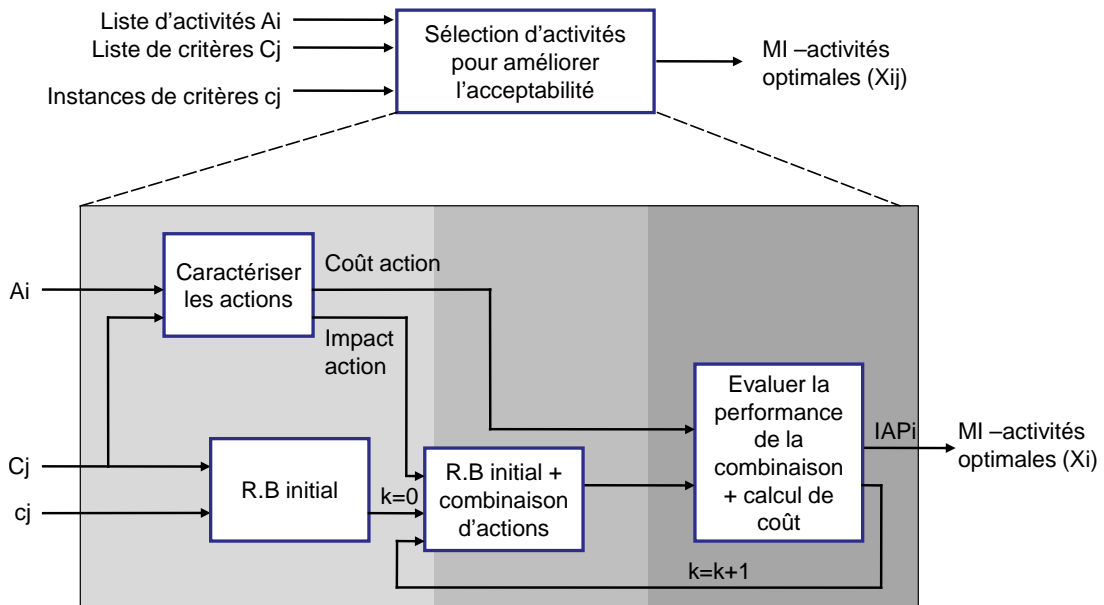


FIGURE 5.3 – Aperçu du système d'optimisation des actions.

### Caractérisation des actions et de leur impact sur l'indice d'acceptabilité

La première étape consiste à identifier toutes les actions possibles qui peuvent être mises en place pour améliorer l'acceptabilité du produit. La complétude de cette tâche est généralement favorisée par un travail consensuel réalisée par l'équipe de conception et animé par le chef de projet. Il est nécessaire de recueillir les commentaires des utilisateurs : à partir des tests d'utilisateurs et/ou, à l'aide d'un focus groupe. Le groupe doit chercher, pour les critères (identifiés et évalués dans la première phase  $C_1, C_2 \dots C_n$ ), des actions pouvant être mises en place pour les améliorer.

Quand une première liste d'actions est identifiée, chaque action doit être caractérisée par son coût d'exécution associé et son influence. Sur l'ensemble de  $n$  actions  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ , nous définissons l'influence de l'action  $a_i$  comme une contribution à chaque critère ( $\Delta a_{ij}, \dots, \Delta a_{im}$ ). Nous définissons trois niveaux possibles de contribution positive (1, 2, 3) et de contribution négative (-1, -2, -3). La contribution positive signifie que l'action améliore le critère, la contribution négative indique que l'action dégrade le critère. Une contribution nulle signifie que cette action n'a pas d'impact sur le critère considéré.

Le tableau 5.1 présente un exemple de liste d'actions avec leurs caractéristiques.

L'état final d'un critère  $C_j$  est défini par l'équation :

$$\text{nouvelle}C_j = \text{MIN}(\text{actuel}C_j + \sum_n \Delta a_{ij} \times x_i; \text{valeur Max}) \quad (5.1)$$

dont :

- $\text{actuel}C_j$  est l'état estimé du critère  $C_j$  avant l'exécution des actions.
- $\Delta a_{ij}$  est la contribution de l'action  $a_i$  à l'amélioration ou à la dégradation du critère  $C_j$ .

Tableau 5.1 – Exemple de caractérisation des actions.

Sous-critère	Action $a_1$	Action $a_2$	Action $a_3$
Critère C1.1	-1	1	0
Critère C1.2	2	1	0
Critère C2.1	0	0	-2
Critère C2.2	3	1	0
Critère C2.3	1	0	1
Coût (€)	1000	2000	500

- $x_i$  est une variable binaire de décision qui prend la valeur 1 si l'action est choisie ou 0 dans le cas contraire.
- La valeur des critères est limitée par *Valeur Max* (nous prendrons 7 dans notre exemple).

Exemple. Considérons trois actions  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$ . Un coût d'exécution est défini pour chaque action. Pour  $a_1$ , 1000€ ; pour  $a_2$ , 2000€ et pour  $a_3$ , 500€. Ensuite pour chaque critère  $C_j$ , nous définissons le niveau de contribution de chaque action à l'amélioration ou à la dégradation de ce critère (1, 2, 3, 0, -1, -2, -3).

Supposons que les deux actions  $a_1$  et  $a_2$  sont choisies ( $x_1$  et  $x_2$  mis à 1). Considérons le critère C1.2. La contribution de  $a_1$  est 2 ; la contribution de  $a_2$  est 1 et celle de  $a_3$  est nulle (pas d'influence).

Si l'état actuel de C1.2 est égal à 3 alors l'état final de C1.2 (après la mise en œuvre des actions) est estimé en utilisant l'équation (5.1) à 6.

De même, considérons C1.1. Si l'état actuel de C1.1 est 5,  $a_1 = -1$  et  $a_2 = 1$ , l'état final de C1.1 sera 5. Nous constatons dans le dernier cas que la contribution positive de  $a_1$  est compensée par la contribution négative de  $a_2$ .

### Formulation du problème d'optimisation

Le problème consiste à chercher parmi l'ensemble des actions une combinaison qui améliore le niveau d'acceptabilité jusqu'à un niveau supérieur à celui spécifié par le chef de projet et qui minimise le coût de mise en place des actions.

Une fois l'ensemble des actions identifiées, le problème consiste à minimiser la fonction :

$$\min \sum_i^I x_i \times \text{coût}_i; \quad (5.2)$$

Sujet aux contraintes :

$$IAP \geq \text{Seuil d'acceptabilité}$$

$$\forall i = 1, \dots, I; x_i = 1 \text{ ou } 0;$$

où  $x_i$  est la variable de décision,  $\text{coût}_i$  le coût de l'action  $i$ , IAP est l'indice d'acceptabilité potentielle pour la combinaison des actions définies et le seuil d'acceptabilité est réglé au niveau minimum toléré par les décideurs. L'IAP est calculé pour chaque combinaison d'actions

de la même façon que dans la phase d'évaluation initiale. Pour chaque critère la nouvelle valeur est calculée par l'équation (5.1) en fonction des actions choisies. Les nouvelles valeurs des critères sont ensuite propagées au réseau bayésien et la valeur de l'IAP est calculée. La Figure 5.4 schématise le problème d'optimisation.

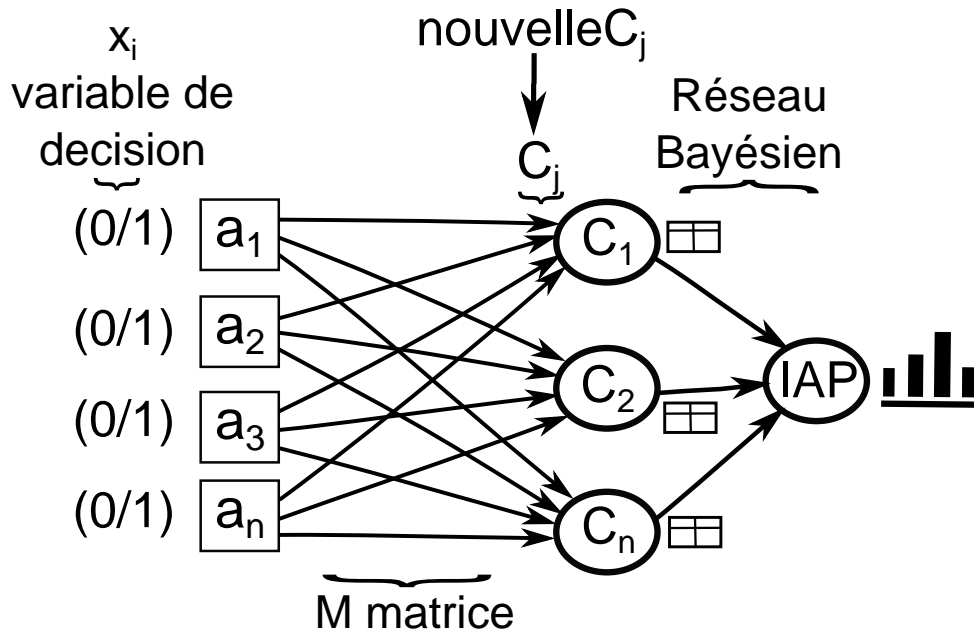


FIGURE 5.4 – Aperçu du problème d'optimisation.

### Résolution du problème d'optimisation par Recuit simulé

L'analyse du problème d'acceptabilité formule un problème linéaire en nombre entier qui pourrait être résolu en utilisant l'optimisation combinatoire. Cependant, le nombre d'actions disponibles détermine la taille de l'espace de solution. Rappelons que les problèmes polynomiaux de classe P peuvent être résolus en utilisant des algorithmes exacts pour explorer tout l'espace de solution (toutes les combinaisons possibles). Mais, pour des problèmes NP-complets, les techniques exactes souffrent de complexité exponentielle, ce qui nécessite des durées de calcul très grandes pour explorer l'ensemble des solutions possibles. Trouver la solution exacte est un problème NP-difficile. Les algorithmes d'optimisation heuristiques arrivent à trouver des solutions acceptables, proches de la solution optimale, qui sont qualifiées de pseudo-optimales. Parmi ces algorithmes, le recuit simulé (SA) s'est avéré être une technique robuste pour trouver des solutions pseudo-optimales en un temps réduit. Notre algorithme d'optimisation est basé sur le SA. Le pseudo-code ci-dessous ( 1 ) présente l'algorithme mis en œuvre.

$Cand$  est la combinaison d'actions,  $T$  la température,  $\alpha$  est le niveau de température final,  $Cand'$  la combinaison voisine et  $\Delta$  la variation de la fonction objective. Une combinaison voisine est définie en prenant aléatoirement une des actions  $a_i$  du vecteur candidat  $Cand$  et en alternant la valeur de  $x_i$  correspondant à l'action (0 devient 1, ou 1 devient 0). Deux combinaisons d'actions voisines diffèrent uniquement par la valeur d'un  $x_i$ .

Pour la mise en œuvre des contraintes du problème, la fonction-objectif  $f(Cand)$  est

**Algorithm 1** Optimiser la combinaison d'actions

---

```

Démarrer avec une configuration initial  $Cand$  et température  $T$ 
while température  $T \geq \alpha$  do
  Choisir une configuration  $Cand'$  parmi les voisins de  $Cand$ 
  Soit  $\Delta \leftarrow f(Cand') - f(Cand)$ 
  if  $\Delta \leq 0$  then
    Fixer  $Cand \leftarrow Cand'$ 
  else
    Fixer  $Cand \leftarrow Cand'$  avec probabilité  $e^{(-\Delta/t)}$ 
  end if
  Diminuer température  $T$ 
end while
Retourner  $Cand$ 

```

---

définie comme la fonction-objectif de la définition du problème  $f_j^1(x)$  plus un terme de pénalité définie comme  $1/2t \times \sum_{j=1}^m f_j^2(x)$  où  $f_j^2(x)$  est la formulation de contraintes du problème.

L'algorithme commence par une combinaison initiale d'actions  $Cand$  ( $x_i = 1$  pour toutes les actions) qui est comparée à une combinaison voisine  $Cand'$ . Si la valeur de la fonction de la combinaison voisine  $f_j^1(Cand') + 1/2t \times \sum_{j=1}^m f_j^2(Cand')$  est inférieure à la valeur de la fonction pour  $Cand$  alors  $Cand'$  est considéré comme la nouvelle meilleure solution. Autrement,  $Cand'$  est seulement accepté avec une probabilité donnée par un terme qui est une fonction de la différence entre les deux réponses ( $\Delta$ ) et la température. Le but d'accepter de temps en temps de « mauvaises » réponses est de permettre à l'algorithme d'explorer l'espace de solution et d'éviter qu'il reste coincé dans les minima locaux. Le terme exponentiel, permet à l'algorithme d'accepter de mauvaises réponses au début, mais de devenir restrictive à mesure que la température diminue. Une fois que la solution est acceptée, la température diminue et le cycle est répété jusqu'à ce que la température atteigne son niveau minimal.

Pour l'implémentation des contraintes du problème, nous avons évalué l'utilisation d'une fonction de pénalité contre l'utilisation d'une contrainte forte comme discuté par Crama et Schyns (2003). Nous avons trouvé à travers nos expériences qu'une fonction de « pénalité du recuit<sup>8</sup> » comme celle proposée par Michalewicz et Schoenauer (1996) fonctionne mieux pour ce problème qu'une contrainte forte. La pénalité du recuit utilisée est une fonction où le poids de la pénalité quadratique est divisé par la température de recuit qui est réduite lorsque l'exploration de l'espace de solutions progresse. La pénalité devient assez élevée à la fin de la recherche et les solutions infaisables sont rejetées.

Une fois que l'algorithme est exécuté, il fournit une liste optimale d'actions qui minimisent le coût supplémentaire des actions d'amélioration tout en dépassant un niveau d'acceptabilité préalablement défini.

Le chef de projet peut choisir par suite de planifier les actions d'amélioration. Le projet peut passer à l'étape de développement du produit. Faire une évaluation et une recherche

---

8. Le terme en anglais est *annealing penalty*

de pistes d'améliorations de manière constante correspond bien à la nature progressive et itérative du processus de conception.

## 5.3 Cas d'application

Pour illustrer l'application de la méthodologie proposée nous présentons ici l'étude de cas concernant le développement du nouveau produit destiné à faciliter l'enfilage des bas de contention pour les aînés dans les EHPAD. Le cas a déjà été présenté dans le chapitre précédent dans lequel nous avons réalisé l'évaluation initiale. Dans cette partie nous présenterons l'étape de recherche d'actions d'amélioration. La Figure 5.5 montre l'évaluation initiale du niveau d'acceptabilité ainsi que des différents niveaux des critères.

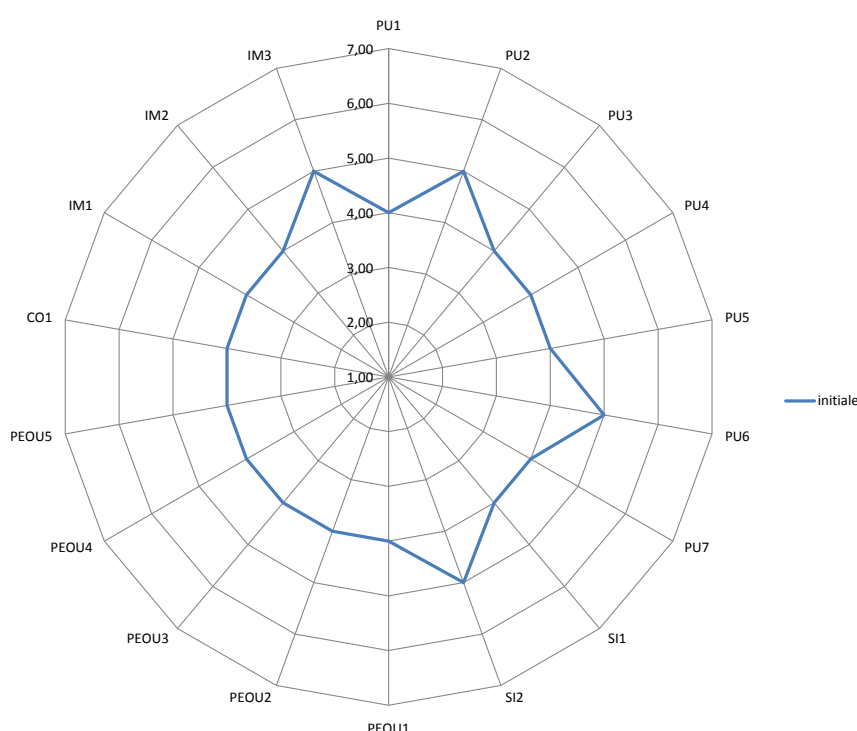


FIGURE 5.5 – Niveau évalué des critères d'acceptabilité pour l'exemple d'application.

### 5.3.1 Amélioration de l'acceptabilité

Comme nous l'avons mentionné précédemment, cette phase nécessite une compétence de résolution créative de problèmes et une compétence dans la gestion de projets. C'est pour cela qu'elle a été réalisée par l'équipe de conception et le chef du projet.

Pendant le test des utilisateurs, une partie du questionnaire était composée de questions ouvertes sur le dispositif. L'équipe a recueilli les suggestions d'amélioration et les a utilisés pendant le travail de groupe concernant la définition des actions d'amélioration.

Avec l'évaluation initiale, l'équipe a construit une vision des critères (cf. figure 5.5). Ils ont commencé à énumérer les actions d'amélioration possibles. Chaque action listée a été



caractérisée par son coût d'exécution et par son influence (contribution) sur chacun des critères du réseau (faible, moyen, élevé) et (positif, négatif).

### Caractérisation des actions et de leur impact sur l'indice d'acceptabilité

Pour ce cas, vingt-cinq actions ont été identifiées sur lesquelles les coûts d'exécution ont été estimés. Dans un premier temps, l'équipe avait identifié 15 actions. Après un travail supplémentaire, ils ont complété la liste pour arriver à identifier 25 actions. Nous utiliserons ces deux listes par la suite pour en comparer les résultats. Les vingt-cinq actions sont présentées dans le tableau 5.2. La contribution de chaque action par rapport aux critères est listée dans le tableau 5.3.

Tableau 5.2 – Liste d'actions trouvées pour l'exemple.

Action	Description	Coût K€
a1	améliorer la puissance du moteur	15
a2	améliorer la distance d'écartement	3
a3	réaliser un focus groupe pour améliorer la perception dans chaque établissement	3
a4	former les utilisateurs pour un usage correct	3
a5	définir des modes d'opération ergonomiques	3
a6	réduire le bruit de l'appareil	15
a7	améliorer l'aspect pour être agréable	30
a8	rajouter un marquage FR	15
a9	communiquer les résultats des tests - marketing	40
a10	communiquer les cas de succès - marketing	40
a11	modifier l'aspect professionnel	15
a12	réduire le poids	30
a13	adapter la forme à l'usage (ergonomie)	10
a14	communiquer les avantages dans chaque établissement - marketing	30
a15	communiquer les bénéfices au chef d'établissement – marketing direct	2
a16	réduire distance des sapins pour la pose des bas	3
a17	rajouter des couleurs amusants	3
a18	ajouter marquage CE ou autre	5
a19	rajouter marquage « silver valley »	1,25
a20	présenter lors des salons spécialisés	10
a21	ajouter marquage Qualité (ISO) ou autre	10
a22	rajouter des indicateurs de niveau de charge	3
a23	rajouter une station d'accueil ergonomique	8
a24	augmenter la durée de la batterie	5
a25	rajouter fonction autonettoyante des sapins	15

Dans le tableau 5.2, nous pouvons observer qu'il y a des actions qui sont directement liées à la conception du produit : augmenter la puissance du moteur, augmenter la distance d'ouverture du dispositif d'enfilage. Il y a d'autres actions liées à l'amélioration de la perception des utilisateurs du produit : certifications, sessions de formation et campagnes de marketing. Chaque action a une influence (ou contribution) sur un ou plusieurs critères. L'influence peut être positive ou négative. L'action *a1* (améliorer la puissance du moteur) par exemple, a une influence positive sur les critères *utilité perçue* et la *facilité d'utilisation*

Tableau 5.3 – Niveau d'influence modelisé des actions sur chaque critère.

	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5	PU6	PU7	IM1	IM2	IM3	PEOU1	PEOU2	PEOU3	PEOU4	PEOU5	CO1	SI1	SI2
a1	3	2		3							3	2	2	3		-3		
a2	2	2		2							3	3	3	3				
a3					2	2									2	3		
a4	1		2	1		1					-1				1			
a5	3			3		3					2			2	1			
a6					2	2										3		
a7					2			-1	1	3								
a8					3	2		3	3								1	1
a9					2	3		3	3								3	3
a10					2			3									3	1
a11					3	3		1	1	3								
a12	2	1		2							2	1		2	1			
a13	1							2	2	-1								
a14								1	1								3	3
a15																	1	1
a16						3											3	3
a17					1			-1	-1	2								
a18					2	3		1	2								2	2
a19					2	2			2									2
a20					1	2		3	3									2
a21					2	3		2	3								1	2
a22		2				1												
a23		3						1	1								1	2
a24		2				2												
a25		3	2			2		2	2								2	2

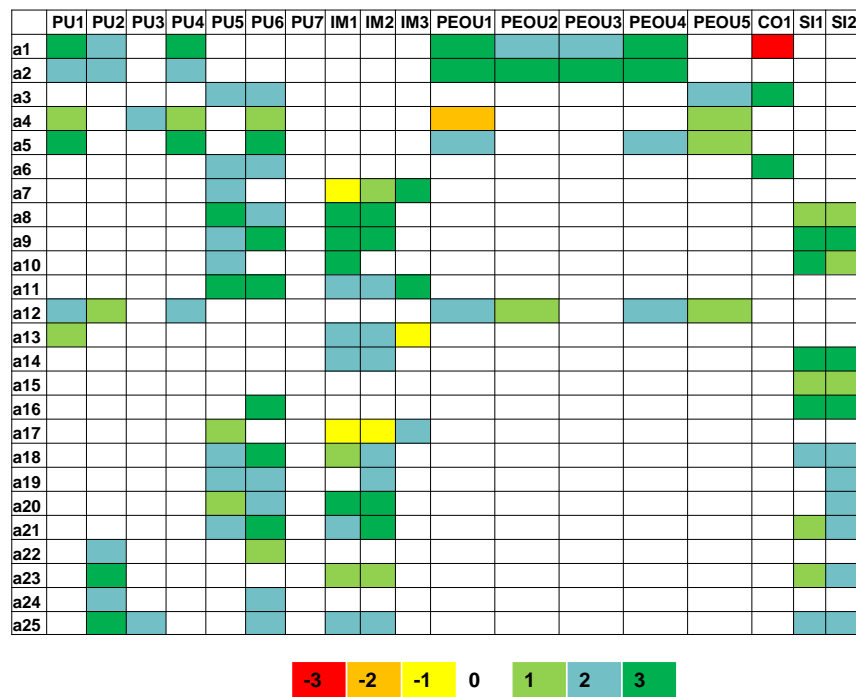


FIGURE 5.6 – Niveau d'influence modelisé des actions sur chaque critère en échelle de couleurs.

perçue. Par contre, elle a une influence négative sur la sonorité perçue de l'appareil (quand la puissance du moteur augmente, son bruit augmente aussi).

Nous pouvons également représenter les influences des actions sur les critères comme dans la figure 5.6. Au lieu d'utiliser l'échelle numérique, nous avons utilisé une échelle de couleurs pour améliorer la visibilité. L'objectif est de permettre au groupe d'identifier visuellement les actions qui ont un très fort impact sur l'ensemble des critères, et de les analyser. Cela permet également d'identifier des critères moins impactés par les actions permettant ainsi de forcer le groupe à vérifier s'il n'existe pas d'autres actions d'amélioration. La case rouge permet par exemple de s'apercevoir qu'un critère est négativement impacté par une action.

### Résolution du problème d'optimisation par Recuit simulé

L'étape d'optimisation consiste à minimiser la fonction objectif définie par l'équation 5.2. L'optimisation se fait en utilisant l'algorithme de SA décrit dans la section précédente.  $f_1(x)$  est définie comme la variation du coût d'une solution candidate et  $f_2(x)$  vérifie que la contrainte « IAP supérieur ou égal à la limite d'acceptabilité est satisfait ». Pour ce cas, le chef de projet a décidé de tester une limite d'acceptabilité de 6 (haut niveau). Comme l'évaluation initiale a montré un niveau autour de 5 et la valeur la plus élevée est de 7, six (6) semble être un bon compromis entre le niveau haut et le niveau estimé. Nous avons lancé l'optimisation pour la liste de 15 actions (première liste trouvée par le groupe) et sur la liste complète de 25 actions. Les résultats sont présentés dans le tableau 5.4.

Tableau 5.4 – Résultats de l'optimisation pour le cas d'étude.

	MIN coût ; ST IAP $\geq$ 6	SA-p 15	SA-p 25
IAP moyen		6,35	6,33
Coût (K€)		6 000 €	4 250 €
Nombre d'itérations		12893	12893
Solution trouvée dans (nombre d'itérations)		9994	8959
Temps d'exécution (s)		19,98	19,87

Le tableau 5.5 montre la composition des réponses dans les deux cas. Dans le tableau 5.5,

Tableau 5.5 – Composition de meilleures réponses pour 15 et 25 actions.

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25
15	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

nous pouvons observer le test avec quinze actions. La solution est composée par les actions  $a_2$  et  $a_4$ . La première action ( $a_1$ ) est directement liée à une amélioration dans la conception du produit. Cette amélioration (augmentation de la distance d'ouverture de l'appareil) est liée à une meilleure utilité et à la facilité d'utilisation, car elle permettra aux utilisateurs de mieux manipuler le produit sans crainte de toucher le patient. La formation ( $a_4$ )

semble indispensable parce qu'elle facilitera l'utilisation ainsi qu'une meilleure perception du produit.

Au début quand les actions ont été énumérées, l'équipe de conception de produits considérait que la meilleure amélioration était d'augmenter la puissance du moteur ( $a_1$ ) parce qu'elle permettra au dispositif de se déplacer plus rapidement pendant l'enfilage. Cette action est cependant chère (15k €) par rapport à d'autres actions offrant une satisfaction de l'utilisateur similaire ou plus faible comme  $a_2$  (3K €). Lorsque  $a_2$  est combinée avec une autre action bon marché  $a_4$  (3K€), l'impact sur le niveau de l'acceptabilité est plus important.

Pour le cas où il y a plusieurs actions à comparer (25), l'optimisation était en quelque sorte similaire : une action qui a amélioré la perception de la facilité d'utilisation  $a_5$  (définir des modes d'opération ergonomiques) et une action qui renforce la confiance dans le produit  $a_{19}$  (rajouter marquage « silver valley »). Ce marquage est important pour les entreprises qui font partie d'un cluster spécialisé dans le marché de produits destinés aux personnes âgées. Il aide le produit à être perçu comme un produit de meilleure qualité parce qu'il montre que la société connaît ses clients.

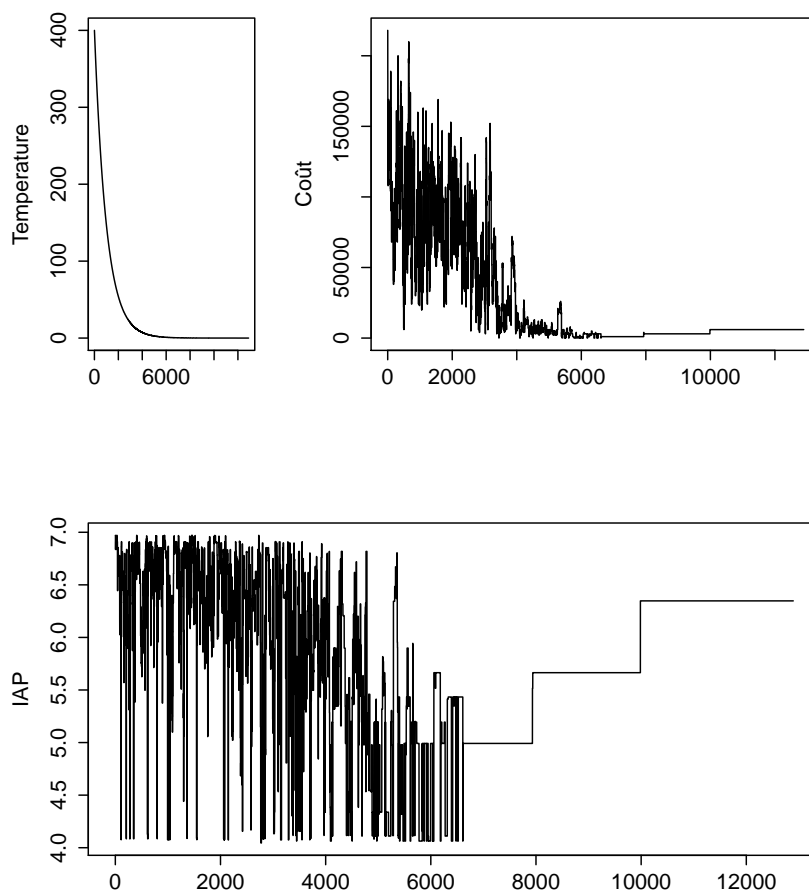


FIGURE 5.7 – Évolution de l'algorithme d'optimisation pour l'exemple de 15 actions.

Afin d'illustrer le comportement de l'algorithme d'optimisation, nous avons construit la figure 5.7. Dans la première image le premier graphique en haut à gauche qui représente la température par itération, nous pouvons observer que la température diminue (diminution géométrique). La deuxième image en haut à droite représente le coût par itération, nous pouvons observer qu'initialement les solutions trouvées ont un coût élevé puis l'algorithme oscille pour converger vers un prix bas (l'objectif étant de minimiser le coût) dans les dernières itérations. Dans la dernière image en bas qui montre le niveau de l'IAP par itération, nous observons qu'il oscille pour converger vers une valeur proche de 6 dans les dernières itérations.

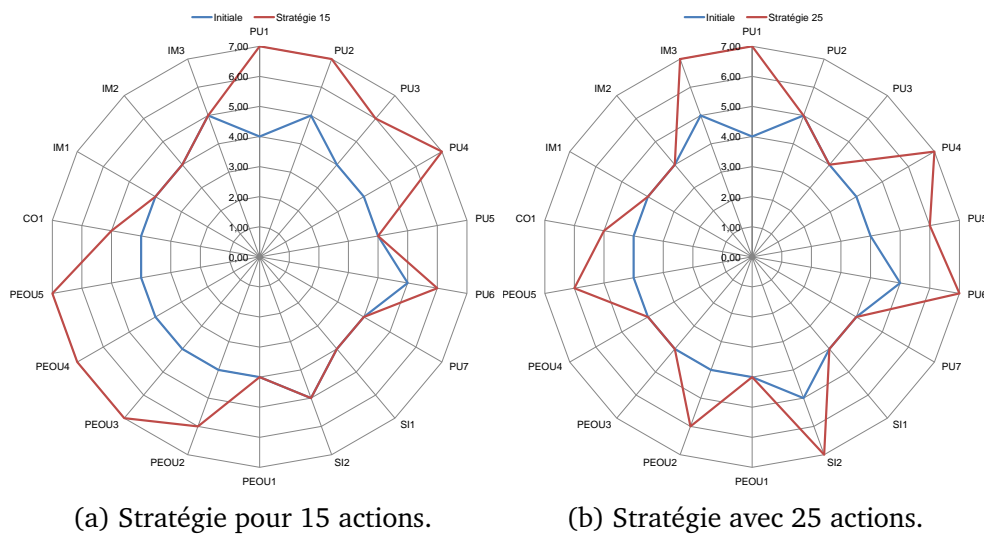


FIGURE 5.8 – Distribution des valeurs des critères pour chaque solution.

Nous avons comparé les valeurs des critères obtenus avec chaque solution par rapport à leur niveau initial.

Dans la figure 5.8, nous pouvons observer que la solution trouvée pour l'ensemble de quinze actions focalise l'amélioration sur les critères de PU et PEOU. Les critères SI et IM n'ont pas changé.

Par contre, dans le cas de 25 actions, la solution trouvée améliore les critères PU et PEOU mais également IM3 et SI2.

Les deux combinaisons d'actions font monter l'IAP jusqu'à 6,33 mais la combinaison pour 25 actions est moins coûteuse (4250 € contre 6000 € pour la combinaison de 15 actions). Le groupe de travail a donc obtenu un bénéfice dans la recherche d'autres actions d'amélioration.

Les vecteurs de solution fournis par l'algorithme sont les solutions optimales en fonction des critères utilisés dans le problème d'optimisation. L'algorithme n'est pas destiné à remplacer les décideurs parce qu'ils doivent évaluer les solutions proposées et décider de les mettre en place ou de rajouter d'autres actions.

## 5.4 Performances de l'algorithme

Il est important de valider le gain en amélioration obtenu par notre algorithme de recuit simulé (SA-p) en le comparant à un algorithme exact (EA) et à une implémentation normale (sans contraintes de pénalité) du recuit simulé (SA). Nous avons donc testé les trois algorithmes avec quatre tailles différentes du problème. Ces tailles différentes ont été obtenues en tronquant la liste de 25 actions à 10, 15, 20 et 25 actions.

En raison de la nature aléatoire des algorithmes de recuit simulé nous avons décidé de réaliser vingt essais pour chaque expérience ce qui a permis d'obtenir le résultat moyen. Pour l'algorithme exact, nous n'avons réalisé qu'un seul essai par expérience. Les quatre expériences ont été réalisées avec un problème de 10, 15, 20 et 25 actions, cela nous a permis d'observer le comportement des algorithmes en fonction de la croissance de l'espace de solution.

L'algorithme EA est une énumération et évaluation complète de toutes les combinaisons possibles, l'algorithme SA et SA-p correspondent à l'algorithme de recuit simulé décrit par l'algorithme 1. La différence entre les deux algorithmes est la façon dont ils gèrent les contraintes. L'algorithme SA est la version classique présentée par Crama et Schyns (2003) dans laquelle les contraintes sont implémentées par comparaison. Si la solution candidate ne satisfait pas la contrainte, elle est rejetée. Dans la version SA-p, les contraintes sont implémentées avec une fonction de pénalité du recuit comme proposé par Michalewicz et Schoenauer (1996). Les solutions candidates qui ne satisfont pas la contrainte peuvent être acceptées avec une certaine probabilité.

Les algorithmes ont été implémentés en langage C en utilisant Visual Studio, le lien avec le réseau bayésien a été fait avec le moteur SMILE. Nous avons réalisé les expérimentations dans un ordinateur avec un processeur Intel Core i5-3470 3.20 GHz avec 4 Go de mémoire RAM. Les paramètres pour l'algorithme SA-p ont été fixés à  $\alpha = 0.999$  (le cycle de refroidissement diminue géométriquement), température initiale de 400. Cela équivaut à 12893 itérations. Nous avons constaté que l'algorithme SA ne fournit pas des résultats satisfaisants, ils sont très aléatoires et l'algorithme ne converge pas assez souvent vers la solution optimale. Les tableaux 5.6, 5.7 et 5.8, montrent les résultats des expériences pour chaque algorithme. Chaque tableau indique le niveau d'acceptabilité estimé avec la combinaison d'actions d'amélioration proposée par la solution (IAP moyen), le coût de la combinaison d'actions, le nombre d'itérations nécessaire pour couvrir tout l'espace de solution, l'itération dans laquelle la solution a été trouvée, le temps d'exécution de l'algorithme (temps de CPU), l'IAP maximum possible dans l'espace de solutions et le coût maximal dans une combinaison de solutions. Les deux dernières lignes nous fournissent un référentiel pour comparer le meilleur IAP possible et le pire coût possible en comparaison à la solution trouvée.

A partir de ces expériences, nous avons trouvé sans surprise que l'algorithme EA trouve toujours la meilleure solution à la fin de son exécution. Au fur et à mesure que le nombre d'actions augmente, l'espace de solution augmente à un taux de  $2^n$  et l'algorithme doit explorer un espace plus grand à chaque fois. La figure 5.9a montre l'espace de solutions pour le problème avec 20 actions. Dans le coin en bas à droite se trouvent les actions qui ont un IAP supérieur ou égal à 6 et un coût de moins de 6000 €. Cette région comporte les solutions sub-optimales ainsi que la solution optimale. La figure 5.9 nous permet de voir que l'espace de solution à explorer est grand et qu'il existe un nombre limité de solutions

Tableau 5.6 – Résultats des expériences avec l'algorithme EA.

MIN coût ; ST IAP $\geq$ 6	EA 10	EA 15	EA 20	EA 25
IAP moyen	6,21	6,21	6,33	6,33
coût (€)	6 000 €	6 000 €	4 250 €	4 250 €
Nombre d'itérations	1024	32768	1048576	33554432
Solution trouvée dans (nombre d'itération)	11	11	262161	262161
Temps d'exécution	1,54(s)	52,19(s)	27.29(min)	14.23(h)
IAP Max	6,83	6,97	6,97	6,98
Coût Max	167 000 €	218 000 €	240 250 €	281 250 €

Tableau 5.7 – Résultats des expériences avec l'algorithme SA.

	SA 10		SA 15		SA 20		SA 25	
MIN coût ; ST IAP $\geq$ 6	avg	sd	avg	sd	avg	sd	avg	sd
IAP moyen	6,26	0,16	6,24	0,13	6,23	0,13	6,26	0,13
coût (€)	34 950 €	30 062 €	35 250 €	25 951 €	35 475 €	27 266 €	33 563 €	19 873 €
Nombre d'itérations	12893	0	12893	0	12893	0	12893	0
Solution trouvée dans	54,8	39,59	166,85	172,41	401,25	720,19	233,35	177,78
Temps d'exécution (s)	20,39	0,26	20,3	0,21	20,17	0,06	19,99	0,23

Tableau 5.8 – Résultats des expériences avec l'algorithme SAp.

	SA-p 10		SA-p 15		SA-p 20		SA-p 25	
MIN coût ; ST PAI $\geq$ 6	avg	sd	avg	sd	avg	sd	avg	sd
IAP moyen	6,3	0,07	6,28	0,15	6,3	0,07	6,3	0,06
coût (K€)	6 000 €	0 €	6 000 €	0 €	5 213 €	893 €	4 863 €	856 €
Nombre d'itérations	12893	0	12893	0	12893	0	12893	0
Solution trouvée dans	8873,3	1312,73	9551,7	787,76	9554,65	311,71	9419,85	483,65
Temps d'exécution (s)	19,95	0,18	19,97	0,12	20,43	0,3	19,94	0,07

optimales possibles.

Le temps nécessaire pour l'exploration de l'espace de solution augmente à un taux exponentiel (cf. figure 5.10). L'algorithme SA-p réalise exactement le même nombre d'itérations (12893) et dans le même temps de CPU (20 s) à chaque exécution. Cet algorithme a retrouvé facilement la solution exacte quand l'espace de solution était de petite taille. Lorsque l'espace de solution augmente l'algorithme (de nature aléatoire) trouve dans 65% des essais la solution exacte (optimum globale) mais parfois il retrouve des solutions satisfaisant les critères et contraintes (solutions pseudo-optimales ou sub-optimales). Ces solutions pseudo-optimales ne sont pourtant pas très éloignées de l'optimum global. Quand nous observons le comportement après 20 essais et comparons les réponses trouvées par les deux algorithmes (EA et SA-p), la différence n'est pas significative (cf. tableau 5.9).

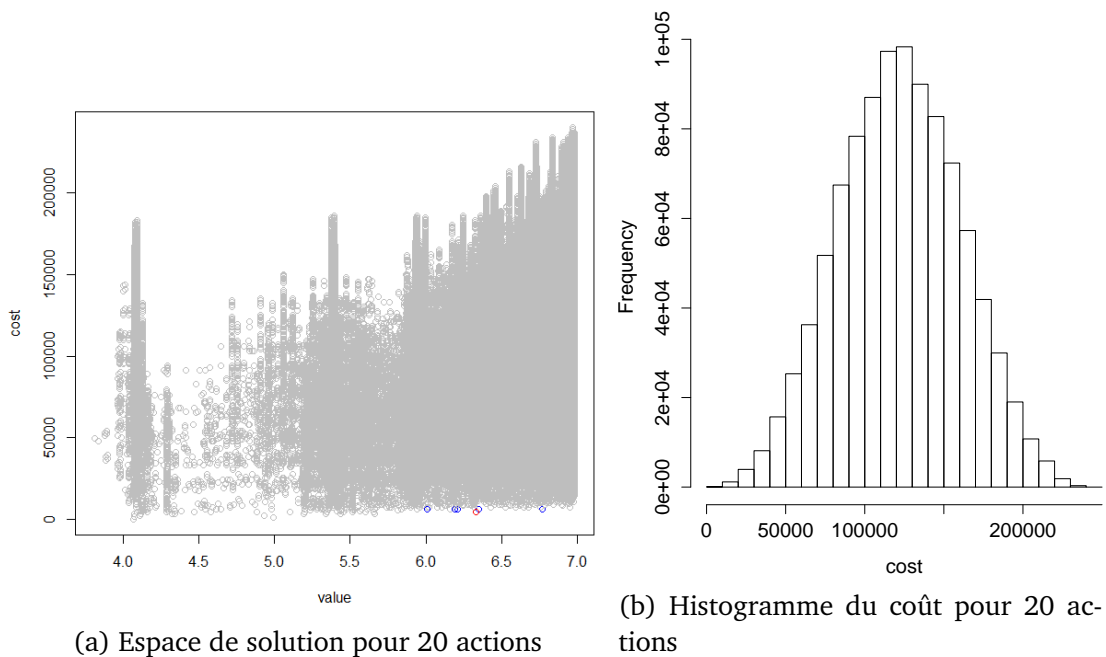


FIGURE 5.9 – Distribution de l'espace de solutions pour 20 actions.

Tableau 5.9 – Différence entre les solutions des algorithmes EA et SA-p.

Taille du problème	10		15		20		25	
	avg	sd	avg	sd	avg	sd	avg	sd
coûtEA -coûtSA-p	0 €	0	0 €	0	-963 €	893 €	-613 €	856 €

Nous avons évalué la distribution de l'espace de solutions (ici limité aux solutions avec un IAP plus grand que 6) et les résultats sont présentés dans la figure 5.9b. Nous observons qu'une solution choisie de façon aléatoire dans l'espace de solution aura plus de probabilité d'avoir un coût entre 100k et 150k€, tandis que les solutions avec un coût minimal ont une probabilité réduite. Cependant la stratégie d'exploration de l'espace de solution qu'utilise



notre algorithme de recuit simulé avec pénalité permet non seulement de parcourir rapidement l'espace de solutions mais également de garder depuis le début des bons candidats de solution et ne les oublie pas jusqu'à la découverte d'une meilleure solution. La fonction de pénalité permet aussi à l'algorithme de trouver le compromis entre une solution potentielle avec un bon coût et un bon IAP en pénalisant les dépassements par rapport à la contrainte. Cette stratégie malgré le non-respect de la contrainte pour évaluer certains candidats lui permet une meilleure exploration de l'espace de solution. Dans le cas de l'algorithme classique (SA), aucune violation de la contrainte n'est permise ce qui ne permet pas à l'algorithme d'explorer certaines zones de l'espace de solution.

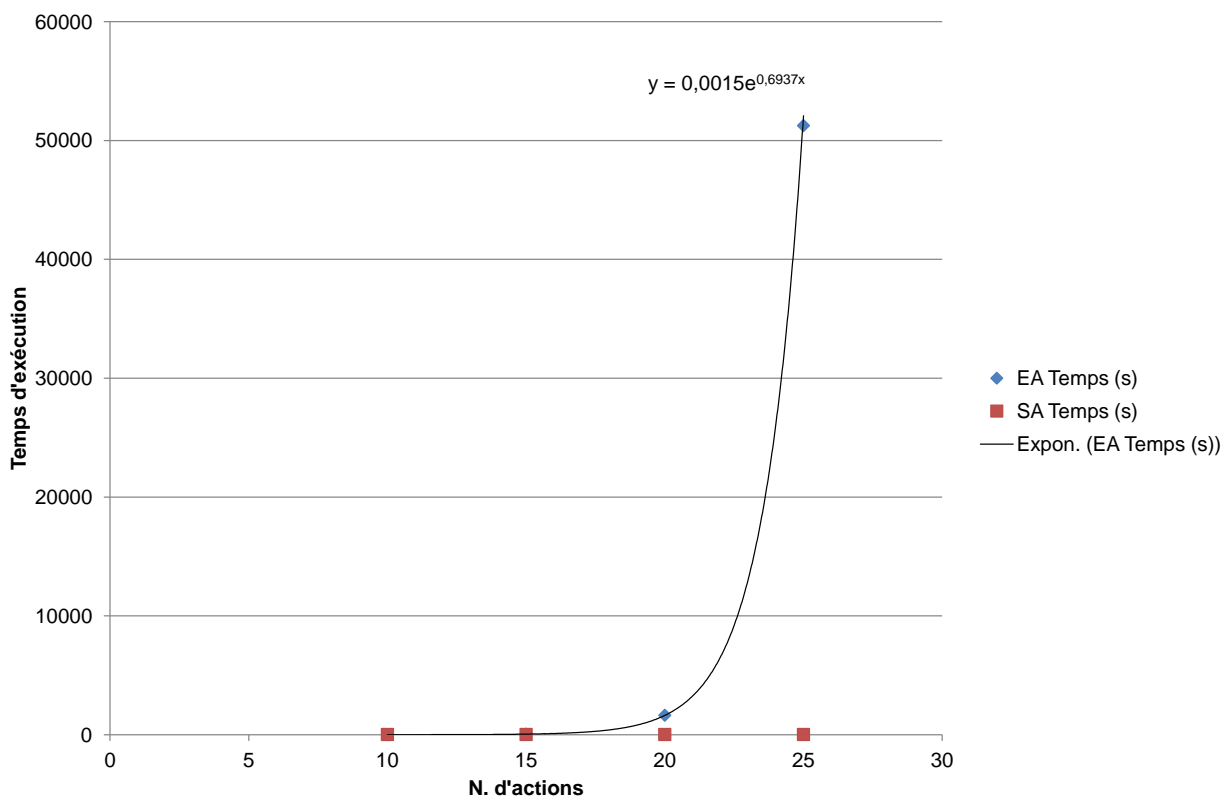


FIGURE 5.10 – Temps d'exécution augmente de façon exponentielle avec l'espace de solution pour une recherche exacte.

## 5.5 Stratégies d'optimisation

Jusqu'à présent nous avons présenté une seule stratégie d'optimisation qui vise l'augmentation de l'IAP jusqu'à un niveau souhaité avec minimisation du coût. Cependant, l'optimisation peut être réalisée avec plusieurs objectifs selon les besoins du chef de projet ou du groupe de décideurs, par exemple, maximiser le niveau IAP avec un budget donné. Dans cette partie, nous allons présenter d'autres stratégies d'optimisation qui peuvent être complémentaires pour une meilleure prise de décision. Si nous prenons le ratio « acceptabilité/coût », nous proposons trois scénarios différents :

**Optimale :** l'acceptabilité augmente en gardant un coût minimal des actions d'amélioration. Dans cette stratégie la fonction objectif cherchera à minimiser le coût avec un IAP plus élevé que le niveau actuel. Celle ci est la stratégie que nous avons utilisée pour le cas d'étude.

**Performante :** l'acceptabilité augmente sans considération du coût. Cette stratégie cherche à trouver la valeur maximale possible de l'IAP sans contrainte de coût. Ensuite, parmi les résultats, on peut choisir une solution avec un coût raisonnable. Cependant puisqu'il n'existe pas de contrainte de coût initial, les combinaisons trouvées risquent d'être limitées par leur faisabilité économique.

**Efficiente :** l'acceptabilité est maximisée en cherchant à maintenir le coût supplémentaire dans un budget défini. Cette stratégie cherche à maximiser le niveau IAP actuel (fonction objectif) et la contrainte sera le niveau de coût à ne pas dépasser, nous cherchons ici à maximiser l'efficacité des ressources.

Avoir des solutions avec chaque stratégie permet d'évaluer des approches différentes pour choisir celle qui est la mieux adaptée au projet et au souhait du chef de projet. Le tableau 5.10 présente les résultats obtenus sur le cas précédent avec quinze actions pour chaque stratégie d'optimisation. Nous observons que la stratégie dite optimale obtient le même résultat que dans l'étude de cas. Ce résultat apparaît comme le meilleur en rapport entre le niveau de l'IAP obtenu contre le coût nécessaire. La stratégie performante pour sa part présente le niveau IAP le plus élevé que nous pouvons obtenir mais, son coût de mise en œuvre est également le plus élevé. L'option efficiente permet de maintenir un niveau IAP semblable ou proche à l'actuel avec un coût minimal (budget maîtrisé), nous avons défini le budget de 1000 € et le niveau IAP obtenu est de 4,99 équivalent à une amélioration de 0,93 du niveau initial.

Tableau 5.10 – Comparatif valeurs IAP et coût avec les différentes stratégies.

	Initiale	Optimale	Performante	Efficiente
<b>IAP moyen</b>	4,06	6,21	6,97	4,99
<b>Coût(€)</b>	0	6000	139000	1000

Les niveaux de l'IAP et le coût seuls ne permettent pas d'avoir une image des apports des solutions aux critères. La figure 5.11 présente ces apports ou influences pour chaque solution. La stratégie performante permet d'obtenir les niveaux les plus élevés des critères. La stratégie efficiente ne se différencie des valeurs initiales que sur quatre critères, notamment les critères SI1 et SI2 qui prennent des valeurs maximales. Pour sa part la stratégie optimale diffère de la stratégie initiale en dix critères qui prennent des valeurs hautes. Cette dernière se focalise sur les améliorations des critères de facilité d'usage (PEOU) et d'utilité perçue (PU)

Il est également intéressant de vérifier les actions d'amélioration préconisées pour chaque stratégie. Le tableau 5.11 présente les vecteurs d'actions pour chaque stratégie. Nous constatons que la stratégie optimale préconise de mettre en place deux actions, la stratégie performante conseille huit actions et la stratégie efficiente une action.

Connaître le nombre et le type d’actions est important pour la prise de décision puisque mettre en place plusieurs actions comme la stratégie performante peut s’avérer difficile. Il s’agit donc de chercher un compromis entre le niveau IAP qui peut être obtenu, le coût de mise en place, le nombre et le type d’actions à mettre en place.

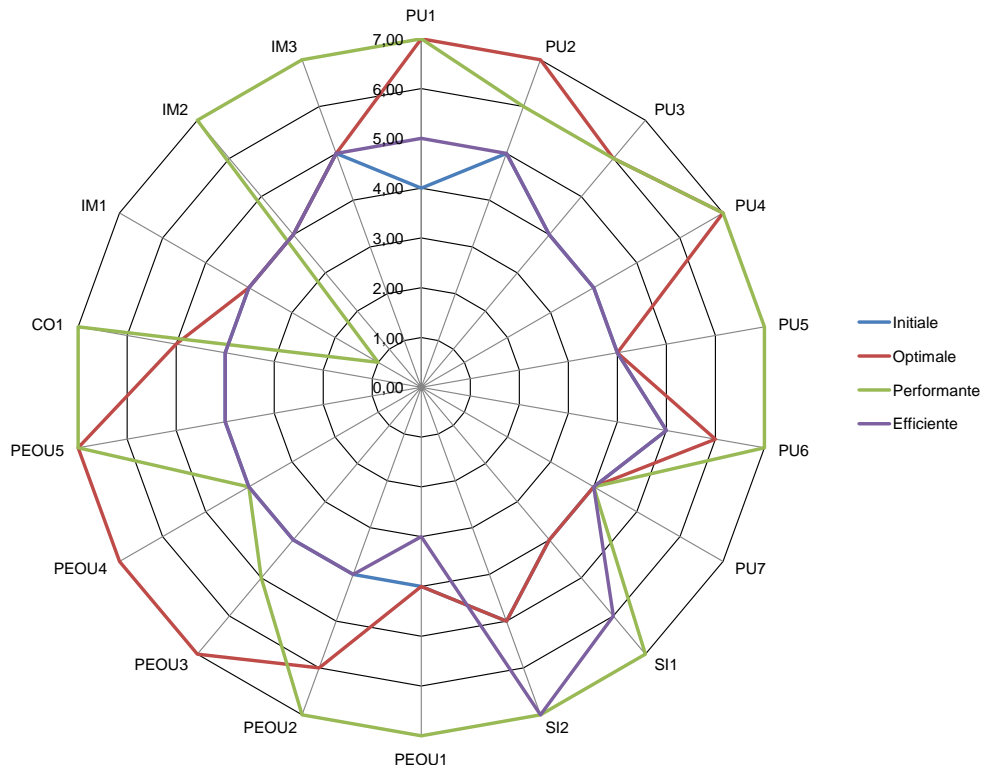


FIGURE 5.11 – Comparatif de valeurs des critères obtenues avec chaque stratégie d’optimisation.

Tableau 5.11 – Actions à mettre en place pour chaque stratégie.

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15
<b>optimale</b>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>performante</b>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
<b>efficente</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

## 5.6 Priorités selon les parties prenantes

D’autre part, nous pouvons avoir des stratégies liées à la coordination des niveaux de l’IAP entre les différentes parties prenantes. Il est possible de séparer et d’avoir un niveau IAP pour chaque partie prenante du projet. Ce qui permettra d’évaluer leurs niveaux respectives d’acceptabilité et d’identifier et d’éventuelles sources de conflits.

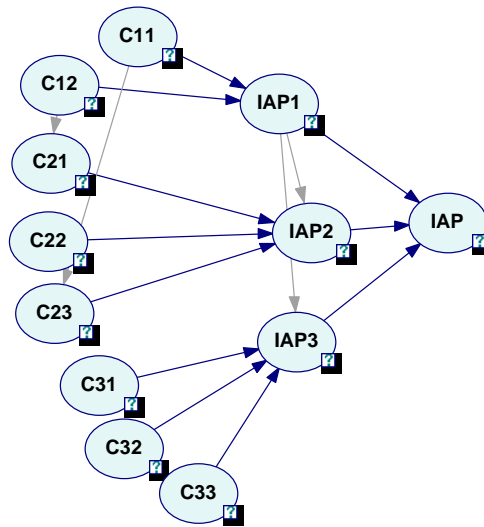


FIGURE 5.12 – Exemple de RB pour évaluer l’acceptabilité de trois parties prenantes.

Prenons l’exemple du réseau bayésien de la figure 5.12 ci-dessous décrivant trois parties prenantes (1,2,3). Nous avons un niveau de l’IAP pour chaque partie prenante obtenu en fonction des niveaux des critères respectifs. Nous avons un niveau IAP global obtenu en fonction des niveaux d’acceptabilité des parties prenantes.

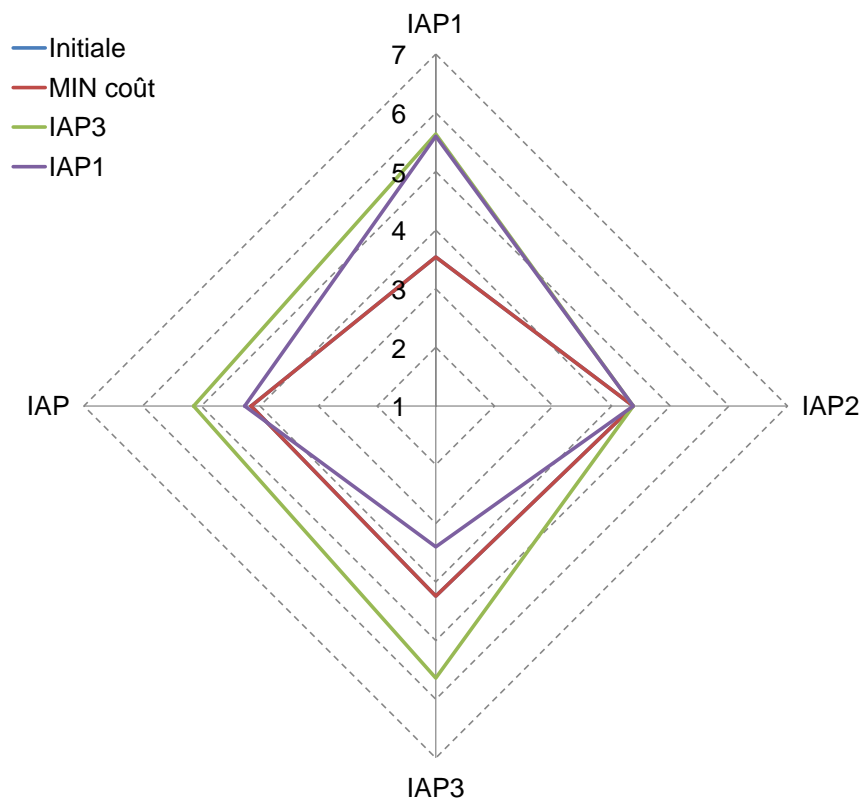


FIGURE 5.13 – Exemple de stratégies d’optimisation avec les niveaux IAP pour des différentes parties prenantes.

Dans la figure 5.13 nous avons testé et comparé trois stratégies différentes pour illustrer les opportunités qui existent : minimisation coût, IAP3, IAP2. En bleu est illustré la situation initiale des niveaux IAP des parties prenantes 1,2 et 3 ainsi que le niveau IAP global. Ensuite, la stratégie « MIN coût » illustre une stratégie dans laquelle nous cherchons à minimiser le coût en gardant un niveau IAP plus grand que cinq. Nous pouvons constater que cette stratégie chevauche les valeurs initiales puisque son coût nul signifie qu'aucune action n'est recommandée. Nous avons ensuite une stratégie (IAP3) dans laquelle nous avons décidé d'équilibrer les niveaux des deux parties prenantes (IAP1 et IAP3) ainsi que le niveau d'acceptabilité global (IAP). Le niveau de la deuxième partie prenante (IAP2) n'a pas été pris en compte dans cette stratégie car ici nous illustrons une situation dans laquelle deux parties prenantes prioritaires sont satisfaites et le niveau global est maintenu pour garder un certain niveau d'acceptabilité dans l'ensemble. Nous constatons dans cette stratégie que les niveaux IAP1 et IAP3 sont proches de 6 et le niveau IAP global est plus grand que cinq, le niveau IAP2 quoiqu'il ne faisait pas partie des objectifs d'amélioration reste dans un niveau entre 4 et 5. Nous avons ensuite une stratégie (IAP1) dans laquelle nous donnons priorité à une seule partie prenante (IAP1) nous pouvons constater que dans ce cas c'est effectivement le seul niveau d'acceptabilité proche de 6. Les autres parties prenantes restent entre 4 et 5 et par conséquent le niveau global reste dans les mêmes valeurs. Ce dernier cas peut être appliqué à une situation dans laquelle une seule partie prenante est prioritaire.

## 5.7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter une méthodologie pour la recherche d'actions d'amélioration en fonction du niveau de l'IAP souhaité. L'équipe projet peut définir une ou plusieurs stratégies d'optimisation pour comparer et choisir la solution qui correspond le mieux au projet. La méthodologie présentée exploite le modèle d'évaluation de l'acceptabilité construit à l'aide des réseaux bayésiens que nous avons présenté dans le chapitre précédent, ensuite nous utilisons un algorithme de recuit simulé adapté pour rechercher les combinaisons d'actions optimales. Nous avons illustré l'usage de la méthodologie avec un cas industriel déjà présenté dans le chapitre précédent et concernant le développement d'un dispositif d'aide à l'enfilage de bas de contention médicale. Différentes stratégies d'optimisation ont été proposées.

Dans un projet de conception, il peut y avoir plusieurs scénarios d'amélioration. Nous avons montré que l'algorithme heuristique était plus efficient que l'exploration complète de tout l'espace de solutions. L'algorithme proposé montre son utilité pour aider les concepteurs et les managers lors de l'évaluation et le choix des scénarios d'amélioration. Avec nos expérimentations nous avons montré que le problème d'amélioration de l'acceptabilité était mieux résolu avec un algorithme de recuit simulé quand les contraintes du problème sont gérées avec une fonction de pénalité du recuit.

La méthodologie proposée présente certaines limites qui devront être traitées dans des travaux futurs. D'une part, le modèle utilisé pour évaluer l'acceptabilité est basé dans les perceptions par les utilisateurs de la solution proposée, nous évaluons l'utilité perçue et la facilité d'usage perçue par exemple. Cependant, ces facteurs sont dépendants de la perception de la solution. Une bonne utilité perçue est liée avec un bon niveau d'acceptabilité,

mais une mauvaise utilité perçue ne permet pas directement de savoir quelles améliorations doivent être faites dans la solution pour améliorer l'acceptabilité. Le chef de projet et l'équipe de conception vont chercher à comprendre de quelle façon ils peuvent améliorer le critère. Dans cette tâche ils ont recours à leurs connaissances et expériences. Une autre façon de faire cela est d'avoir un modèle qui relie les attributs du produit et le niveau d'acceptabilité. Avec un tel modèle d'évaluation, l'équipe de conception saura directement sur quels attributs agir, cela peut également être exploité pour générer automatiquement les recommandations comme cela a été proposé dans (Zhou et Jiao, 2013 ; Zhou, Ji et Jiao, 2014).

D'autre part, l'algorithme de recuit simulé que nous avons implémenté a été configuré avec les paramètres qui présentaient un comportement approprié après plusieurs tests. La configuration des paramètres peut être améliorée en utilisant par exemple une configuration dynamique des paramètres. Nous pouvons également explorer l'utilisation d'autres algorithmes d'optimisation.

# Conclusion et perspectives

## Conclusion

Les travaux que nous avons présentés contribuent à l'évolution des approches de co-conception permettant la prise en compte des préférences des parties prenantes et l'amélioration de l'acceptabilité de nouveaux produits ou services. Les différentes parties prenantes comme les futurs utilisateurs, les industriels, la hiérarchie et les partenaires peuvent avoir des préférences contradictoires. Nos travaux se situent spécifiquement lors des étapes de définition des concepts et continuent tout au long du processus de développement de nouveaux produits. Il est très important d'agir en amont pour réduire les risques d'échecs lors de la phase d'exploitation du produit.

Dans un premier temps, nous avons réalisé une analyse et synthèse des outils permettant la prise en compte des préférences des parties prenantes lors de la conception. Ils ont été testés dans le cadre d'un projet de conception d'un dispositif d'aide au transfert des patients avec comme support, la plateforme Lorraine Fab Living Lab (LF2L). Cette expérimentation nous a permis d'identifier les défis pouvant être rencontrés lors de la mise en place des approches de co-conception dans le domaine de la santé.

Un produit nouveau doit intégrer un environnement d'usage donné. C'est par exemple le cas d'un produit à destination des structures de soins où l'introduction de ce produit va bousculer les pratiques et l'organisation. C'est également le cas d'un produit qui vise à favoriser le maintien à domicile des personnes âgées et qui devra être adapté à l'environnement du futur utilisateur. Dans cette optique, le cas de l'adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile a fait l'objet d'une proposition méthodologique et d'une expérimentation. La démarche proposée et testée peut être considérée comme une première étape vers une démarche plus globale de co-conception d'un système de maintien à domicile de personnes âgées. Elle a pour intérêt d'intégrer clairement les parties prenantes et les contraintes de l'environnement pour définir une adaptation de l'habitat.

Les démarches actuelles de co-conception favorisent l'acceptabilité des solutions et réduisent les risques d'échec mais elles ne fournissent pas une garantie suffisante de succès. Les chefs de projet et les concepteurs ne disposent pas de modèles, méthodes et outils pour évaluer le niveau d'acceptabilité d'un nouveau concept et pour suivre son évolution tout au long du processus. La connaissance d'un indice d'acceptabilité potentielle, dès les phases amont de la conception, devrait leur permettre de mieux gérer les risques dans le projet. Nous avons donc proposé et testé une démarche permettant l'estimation de la probabilité qu'un concept de solution puisse être accepté par les différentes parties prenantes. Cette probabilité est exprimée sous forme d'une valeur que nous avons intitulée « Indice d'Acceptabilité Potentielle

---

(IAP) ». A partir de la littérature et des avis d'experts, des critères et sous-critères influençant l'acceptabilité ont été identifiés et validés. Après une analyse de différentes techniques de modélisation, notre choix s'est porté sur le formalisme des réseaux bayésiens pour modéliser les données et calculer cet indice (Arbelaez Garces, Rakotondranaivo et Bonjour, 2016a). Les avantages de cette technique reposent sur la possibilité d'analyser des données mixtes et incomplètes, d'effectuer des démarches de diagnostic et de prédiction. Cette démarche permet à l'équipe de conception de calculer rapidement l'impact de l'évolution d'un critère sur l'IAP ou à l'inverse, le niveau nécessaire de chaque critère pour atteindre un IAP souhaité. Cette contribution, orientée vers l'amélioration des modèles en ergonomie, a été valorisée par un article publié dans la revue *International Journal of Industrial Ergonomics*.

La dernière phase de nos travaux s'est consacrée à l'amélioration de l'acceptabilité. Le niveau initial de l'IAP peut être satisfaisant ou non. Ce niveau dépend des différents niveaux des critères. Il est donc nécessaire d'identifier les critères les plus contributifs à l'IAP et de choisir les meilleures actions d'amélioration à mettre en place. Cependant vérifier simultanément l'effet de chaque action sur plusieurs critères et sur l'indice d'acceptabilité est une activité difficile. Par ailleurs, nous avons ajouté un autre facteur d'arbitrage : le coût. Le problème consiste alors à trouver parmi toutes les actions possibles une combinaison optimale qui amène l'indice d'acceptabilité à une valeur souhaitée en minimisant le coût supplémentaire. Pour résoudre ce problème d'optimisation et fournir une aide à la décision, nous avons proposé une démarche en deux étapes, permettant d'abord la recherche d'actions d'amélioration et par la suite, la sélection de la combinaison optimale. Dans cette démarche, nous avons proposé l'utilisation d'une version modifiée de l'algorithme de recuit simulé en gérant les contraintes par une fonction de pénalité du recuit (Arbelaez Garces, Rakotondranaivo et Bonjour, 2016b). Cet algorithme s'est avéré plus performant que d'autres algorithmes que nous avons aussi testés sur ce problème. Cette contribution, orientée vers le domaine de la recherche opérationnelle, a été valorisée par un article publié dans la revue *International Journal of Production Research*.

## Perspectives

Un travail de thèse comporte des limites liées à sa durée et aux expertises qu'il est nécessaire de développer ou de combiner. Il n'est pas toujours possible d'approfondir pleinement l'ensemble des thèmes abordés. Plusieurs pistes de recherche ont été déjà proposées à la fin des chapitres précédents. Nous allons proposer ci-dessous des perspectives plus générales, complémentaires.

Le modèle que nous avons construit pour évaluer l'acceptabilité prend en compte différents critères liés à la perception des utilisateurs sur le concept de solution retenu. Nous évaluons des critères comme la perception de l'utilité du produit, la facilité d'usage perçue, entre autres. Ces critères sont dépendants de la perception et de la représentation que les participants aux tests se construisent de la future solution. De ce point de vue, les représentations, les prototypes ou les mises en situation jouent un rôle important dans la perception. Nous avons déjà évoqué l'importance du niveau de maturité des objets intermédiaires de conception (maquettes, prototypes,...). Une analyse approfondie sur ce point pourra être envisagée : quels objets intermédiaires de conception et pour chacun d'eux, quels protocoles



---

de test, sont les plus adaptés ? Est-ce que les techniques de la réalité virtuelle ou d'espaces immersifs peuvent apporter une aide à la construction d'une représentation plus fidèle de l'usage futur de la solution envisagée ?

Nous avons proposé des critères d'évaluation. Ces critères peuvent être enrichis pour prendre en compte des paramètres subjectifs comme l'affect et les émotions (Levrat et al., 1997 ; Kim et al., 2016 ; Camargo, Wendling et Bonjour, 2014). Ce type de paramètres peut être mesuré avec des capteurs tels que l'eye-tracking. L'avantage d'étendre les critères à ces types d'approches est de pouvoir lier des paramètres de conception directement aux critères d'évaluation. Ceci permettra d'identifier directement les paramètres de conception qu'il faut améliorer pour augmenter l'acceptabilité. Les travaux de Zhou, Ji et Jiao (2014) peuvent servir de base pour aborder cette problématique.

Lors de la construction de la matrice d'impacts dans la démarche d'optimisation, il existe une certaine subjectivité. Le biais de construction peut être accentué si cette matrice est construite seulement par le chef de projet, et non par un travail de groupe. Cette subjectivité peut être réduite si des approches floues ou des approches permettant de combiner les avis des différents décideurs sont utilisés. Les travaux de Poplawska et al. (2014) qui abordent la combinaison des avis et préférences des différentes parties prenantes pour la prise de décision pourraient servir de base pour approfondir cette problématique.

L'ensemble des modèles proposés (liste des critères, Réseau bayésien, matrice d'impact,...) peut servir pour formaliser les connaissances générées lors du processus d'évaluation et d'amélioration. Une perspective intéressante peut consister à utiliser des évaluations lors de l'usage du produit pour améliorer les modèles précédents, générés en conception (Arbelaez Garces, Bonjour et Rakotonranaivo, 2016).

D'autre part, l'algorithme de recuit simulé que nous avons utilisé a été configuré avec les paramètres qui fonctionnaient le mieux après plusieurs tests. La configuration des paramètres peut être améliorée pour s'adapter au problème avec une configuration dynamique des paramètres. D'autres travaux peuvent explorer l'utilisation des algorithmes d'optimisation évolutionnistes, comme les algorithmes génétiques ou l'optimisation par des colonies de fourmis.

Finalement, il est envisageable d'appliquer l'ensemble des approches proposées dans d'autres domaines et dans d'autres cas d'études pour valider leur généralisation. Par exemple, un projet pour évaluer des scénarios pédagogiques est en cours avec l'Ecole de chirurgie de Nancy. L'évaluation de l'acceptabilité et l'apport des simulateurs d'opérations chirurgicales dans la formation des chirurgiens sont envisageables.

# Références bibliographiques

- Aamodt, A et E Plaza (1994). « Case-based reasoning : Foundational issues, methodological variations, and system approaches ». Dans : *AI communications* 7(1), p. 39–59.
- Abeille, J, T Coudert, E Vareilles, L Geneste, M Aldanondo et T Roux (2010). « Formalization of an Integrated System/Project Design Framework : First Models and Processes ». Dans : *Complex Systems Design & Management*. Springer : Berlin, Heidelberg, p. 207–217.
- AFNOR (2003). *FD X 50-117 : Management de projet - Gestion du risque*.
- Aggelidis, V et P Chatzoglou (2009). « Using a modified technology acceptance model in hospitals ». Dans : *International Journal of Medical Informatics* 78(2), p. 115–126.
- Agrawal, V, A. Vaidya, L. A. Shluzas, M. Steiner et R Katila (2012). « Conceptual and practical user integration into the design process- a four step stakeholder approach ». Dans : *International Design Conference - DESIGN 2012 21-24 Mai*. Dubrovnik, Croatia, p. 705–716.
- Ajzen, I. et M. Fishbein (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Prentice-Hall : Englewood Cliffs, NJ.
- Albadvi, A., S. K. Chaharsooghi et A. Esfahanipour (2007). « Decision making in stock trading : An application of PROMETHEE ». Dans : *European Journal of Operational Research* 177(2), p. 673–683.
- Albinsson, L. et O. Forsgren (2004). « Who's at the wheel of user driven projects when user can't drive ? » Dans : *3rd International Conference on Systems Thinking in Management (ICSTM), May 19-21*. Philadelphia, USA.
- Albinsson, L., M. Lind et O. Forsgren (2007). « Co-Design : An Approach to Border Crossing , Network Innovation ». Dans : *Expanding the Knowledge Economy : Issues, Applications, Case Studies*. Sous la dir. de P. Cunningham et M. Cunningham. IOS Press : Amsterdam. Chap. 4, p. 977–983.
- Alsawalqah, H. I., S. Kang et J. Lee (2014). « A method to optimize the scope of a software product platform based on end-user features ». Dans : *Journal of Systems and Software* 98, p. 79–106.
- Altshuller, G, L Shulyak et S Rodman (1999). *The innovation algorithm : TRIZ, systematic innovation and technical creativity*. Technical Innovation Center, Inc.
- Aquino Shluzas, L. M. et L. J. Leifer (2014). « The insight-value-perception (iVP) model for user-centered design ». Dans : *Technovation* 34(11), p. 649–662.
- Arbelaez Garces, G., E. Bonjour et A. Rakotondranaivo (2016). « New product acceptability and improvement model with knowledge reuse ». Dans : *8th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management & Control- MIM- June 28-30*. Troyes, France.

- Arbelaez Garces, G., A. Rakotondranaivo et E. Bonjour (2016a). « An acceptability estimation and analysis methodology based on Bayesian networks ». Dans : *International Journal of Industrial Ergonomics* 53, p. 245–256.
- Arbelaez-garces, G., A. Rakotondranaivo et E. Bonjour (2014). « Conception innovante en santé : revue de la littérature et cadre conceptuel pour évaluer l'acceptabilité ». Dans : *Conférence Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers GISEH'14*. Leiege, 7-9 Juillet, p. 1–9.
- Arbelaez Garces, G., A. Rakotondranaivo et E. Bonjour (2016b). « Improving users' product acceptability : an approach based on Bayesian networks and a simulated annealing algorithm ». Dans : *International Journal of Production Research* 7543(March), p. 1–18.
- Arnstein, S. R. (1969). « A Ladder Of Citizen Participation ». en. Dans : *Journal of the American Institute of Planners* 35(4), p. 216–224.
- Bagozzi, R. P. (2007). « The Legacy of the Technology Acceptance Model and a Proposal for a Paradigm Shift ». Dans : *Journal of the Association for Information Systems* 8(4), p. 244–254.
- Ballon, P., J. Pierson et S. Delaere (2005). « Test and Experimentation Platforms for Broadband Innovation : Examining European Practice ». Dans : *16th European Regional Conference by the International Telecommunications Society (ITS) - Sept. 4-6*. Porto, Portugal.
- Bano, M. et D. Zowghi (2015). « A systematic review on the relationship between user involvement and system success ». Dans : *Information and Software Technology* 58, p. 148–169.
- Barki, H. et J. Hartwick (1994). « Measuring User Participation, User Involvement, and User Attitude ». Dans : *MIS Quarterly* 18(1), p. 59.
- Barlow, J., S. Bayer et R. Curry (2006). « Implementing complex innovations in fluid multi-stakeholder environments : Experiences of 'telecare' ». Dans : *Technovation* 26(3), p. 396–406.
- Bashir, B. (2013). « Contribution to modeling and optimization of home healthcare ». Thèse de Doctorat. Université Balise Pascal.
- Bayes, M. et M. Price (1763). *An Essay towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the Late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. Communicated by Mr. Price, in a Letter to John Canton, A. M. F. R. S.*
- Ben Hamida, S. et M Schoenauer (2000). « An adaptive algorithm for constrained optimization problems ». Dans : *Parallel Problem Solving from Nature PPSN VI*, p. 529–538.
- Ben Rejeb, H. (2008). « Phases amont de l'innovation : proposition d'une démarche d'analyse de besoins et d'évaluation de l'acceptabilité d'un produit ». Thèse de Doctorat : INPL, Nancy.
- Ben Rejeb, H., V. Boly et L. Morel-Guimarães (2011). « Attractive quality for requirement assessment during the front-end of innovation ». Dans : *The TQM journal* 23(2), p. 216–234.
- Bérardier, M. (2012). « Vieillir chez soi : usages et besoins des aides techniques et des aménagements du logement ». Dans : *Etudes et résultats* 823(12), p. 1–6.
- Berchet, C. et G. Habchi (2005). « The implementation and deployment of an ERP system : An industrial case study ». Dans : *Computers in Industry* 56(6), p. 588–605.
- Bernard, C., S. Hallal et J.-P. Nicolai (2013). *La Silver Économie, une opportunité de croissance pour la France*. Rapp. tech. Paris : Commissariat général à la stratégie et à la prospective.

- Birraux, C et J.-Y. Le Déaut (2012). *Rapport sur l'innovation à l'épreuve des peurs et des risques. Remis à l'Assemblée nationale et au Sénat le 24 janvier.*
- Bobillier-Chaumon, M. et M. Dubois (2009). « L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ». Dans : *Le travail humain* 72(4), p. 355.
- Bobillier Chaumon, M.-E., B. Cuvillier, C. Durif-Bruckert, F. Cros, M. Vanhille et S. Bekkadjja (2014). « Concevoir une technologie ambiante pour le maintien à domicile : une démarche prospective par la prise en compte des systèmes d'activité ». fr. Dans : *Le travail humain* 77(1), p. 39.
- Boly, V., L. Morel, N. G. Assielou et M. Camargo (2014). « Evaluating innovative processes in french firms : Methodological proposition for firm innovation capacity evaluation ». Dans : *Research Policy* 43(3), p. 608–622.
- Bongard-blanchy, K. (2013). « Bringing the User Experience to early product design : from idea generation to idea evaluation ». Thèse de doctorat. ENSAM, Paris.
- Bontout, O., C. Colin et R. Kerjosse (2002). « Personnes âgées dépendantes et aidants potentiels : une projection à l'horizon 2040 ». Dans : *Etudes et Résultats* 160(2), p. 1–12.
- Bouaziz, M. F., E. Zamaï et F. Duvivier (2013). « Towards Bayesian network methodology for predicting the equipment health factor of complex semiconductor systems ». Dans : *International Journal of Production Research* 51(15), p. 4597–4617.
- Bouchayer, F., C. Gorgeon et A. Rozenkier (2002). *Les techniques de la vie quotidienne. Âges et usages*. DREES « coll. MiRe-CNAV », p. 199.
- Bradley, M. et P. Lang (2000). « Measuring emotion : Behavior, feeling, and physiology ». Dans : *Cognitive neuroscience of emotion*. Oxford University Press : Oxford, UK.
- Brosnan, M. J. (1999). « Modeling technophobia : A case for word processing ». Dans : *Computers in Human Behavior* 15(2), p. 105–121.
- Broussy, L. (2013). *L'adaptation de la société au vieillissement de sa population : France : année zero !* Rapp. tech. Mission Interministérielle sur l'adaptation de la société française au vieillissement de sa population.
- Brown, T. (2008). « Design Thinking ». Dans : *Harvard Business Review* 86(6), p. 84–92.
- Caine, K. E., M. O'Brien, S. Park, W. A. Rogers, A. D. Fisk, K. van Ittersum, M. Capar et L. J. Parsons (2006). « Understanding Acceptance of High Technology Products : 50 Years of Research ». Dans : *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 50(18), p. 2148–2152.
- Camargo, M., L. Wendling et E. Bonjour (2014). « A fuzzy integral based methodology to elicit semantic spaces in usability tests ». Dans : *International Journal of Industrial Ergonomics* 44(1), p. 11–17.
- Camargo, M., R. Bary, N. Skiba, V. Boly et R. Smith (2012). « Studying the implications and impact of smartphones on self-directed learning under a Living Lab approach ». Dans : *International Journal of Product Development* 17(1/2), p. 119–138.
- Chang, C.-H. J., B. C. Amick, C. C. Menendez, J. N. Katz, P. W. Johnson, M. Robertson et J. T. Dennerlein (2007). « Daily computer usage correlated with undergraduate students' musculoskeletal symptoms. » Dans : *American journal of industrial medicine* 50(6), p. 481–8.

- Charfeddine, M., V. Augusto et B. Montreuil (2010). « Specialized healthcare network redeployment maximizing multiple stakeholders satisfaction using ant colony optimization ». Dans : *2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM)*. IEEE, p. 1–6.
- Chen, K. et A. H. Chan (2014). « Predictors of gerontechnology acceptance by older Hong Kong Chinese ». Dans : *Technovation* 34(2), p. 126–135.
- Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation : The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business Press.
- Chevalier, A., A. Dommès et J. Marquié (2008). « Les Seniors et les Technologies de l'Information et de la Communication : le cas d'Internet ». Dans : *Usages, usagers et compétences informationnelles au XXIe siècle*. Sous la dir. de J. Dinet. Hermès-Sciences : Paris. Chap. 8, p. 255–256.
- Cho, C.-Y., Y.-S. Hwang et R.-J. Cherng (2012). « Musculoskeletal symptoms and associated risk factors among office workers with high workload computer use. » Dans : *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 35(7), p. 534–40.
- Cho, Y., J. Park, S. H. Han et S. Kang (2011). « Development of a web-based survey system for evaluating affective satisfaction ». Dans : *International Journal of Industrial Ergonomics* 41(3), p. 247–254.
- Christensen, L. et E. Grönvall (2011). « Challenges and Opportunities for Collaborative Technologies for Home Care Work ». Dans : *ECSCW 2011 : Proceedings of the 12th European Conference on Computer Supported Cooperative Work, 24-28 September*. Aarhus Denmark, p. 61–80.
- Churchman, C. W. (1971). *The design of inquiring systems : basic concepts of systems and organization*. Basic Books : New York, p. 288.
- Collos, J.-P. et C. Delomier (2012). « Usage et non-usage des objets communicants dans le cadre du maintien à domicile ». fr. Dans : *Gérontologie et société* n 141(2), p. 41–55.
- Colorni, A, M. Dorigo et V. Maniezzo (1991). « Distributed optimization by ant colonies ». Dans : *Proceedings of ECAL91 - European conference on artificial Life*. Elsevier publishing : Paris, France, p. 134–142.
- Cooper, D., S. Grey, G. Raymon et P. Walker (2004). *Project Risk Management Guidelines : Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements*. 1<sup>re</sup> éd. Wiley, p. 400.
- Cornu, C., V. Chapurlat, J.-M. Quiot et F. Irigoien (2012). « A maturity model for the deployment of Systems Engineering processes ». Dans : *2012 IEEE International Systems Conference SysCon 2012*. IEEE, p. 1–6.
- Coudert, T, E Vareilles, M Aldanondo, L Geneste et J Abeille (2011). « Synchronization of system design and project planning : Integrated model and rules ». Dans : *2011 5th International Conference on Software Knowledge Information Industrial Management and Applications SKIMA Proceedings*, p. 1–6.
- Coutton, V. (2001). « Evaluer la dépendance à l'aide de groupes isoressources (GIR) : une tentative en France avec la grille aggir ». Dans : *Gérontologie et société* 99(4), p. 111–129.
- Crama, Y. et M. Schyns (2003). « Simulated annealing for complex portfolio selection problems ». Dans : *European Journal of Operational Research* 150(3), p. 546–571.
- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods : Strategies for Product Design*. 4th. John Wiley & Sons, Ltd.
- Davis, F. D. (1989). « Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology ». Dans : *MIS quarterly* 13(3), p. 319.

- Delmas, J.-F. et B. Jourdain (2006). *Modèles aléatoires - Applications aux sciences de l'ingénieur et du vivant*. T. 57. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 431.
- Dempster, A., N. Laird et D. Rubin (1977). « Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm ». Dans : *Journal of the royal statistical society*. 39(1), p. 1–38.
- Desroches, A. (2008). « Gestion des risques d'un projet ». fre. Dans : *Techniques de l'ingénieur. Sécurité et gestion des risques SE1(SE2040)*.
- Di Mascolo, M. et A. Gouin (2013). « A generic simulation model to assess the performance of sterilization services in health establishments ». Dans : *Health Care Management Science* 16(1), p. 45–61.
- Dieter, G. et L. Schmidt (2009). *Engineering Design*. 4<sup>e</sup> éd. McGraw-Hill Education, p. 827.
- Dillon, A. et M. Morris (1999). « Power, Perception and Performance : From Usability Engineering to Technology Acceptance with the P3 Model of User Response ». Dans : *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. T. 43. 19, p. 1017–1021.
- Dos Santos, S. et Y. Makdessi (2010). « Une approche de l'autonomie chez les adultes et les personnes âgées ». Dans : *Etudes et Résultats* 718(2), p. 1–8.
- Dow, S. P., A. Glassco, J. Kass, M. Schwarz, D. L. Schwartz et S. R. Klemmer (2010). « Parallel prototyping leads to better design results, more divergence, and increased self-efficacy ». Dans : *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 17(4), p. 1–24.
- Durugbo, C. (2014). « Strategic framework for industrial product-service co-design : findings from the microsystems industry ». Dans : *International Journal of Production Research* 52(10), p. 2881–2900.
- Edelman, J., A. Grosskopf, M. Weske et L. Leifer (2009). « Tangible business process modeling : a new approach ». Dans : *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design*. Stanford, p. 485–494.
- Eijkelhof, B. H. W., M. A. Huysmans, B. M. Blatter, P. C. Leider, P. W. Johnson, J. H. van Dieën, J. T. Dennerlein et A. J. van der Beek (2014). « Office workers' computer use patterns are associated with workplace stressors. » Dans : *Applied ergonomics* 45(6), p. 1660–1667.
- Eisma, R., A. Dickinson, J. Goodman, O. Mival, A. Syme et L. Tiwari (2003). « Mutual inspiration in the development of new technology for older people ». Dans : *Proceedings of INCLUDE 2003*, p. 7–252.
- Elazouni, A. M., A. E. Ali et R. H. Abdel-Razek (2005). « Estimating the Acceptability of New Formwork Systems Using Neural Networks ». Dans : *Journal of Construction Engineering and Management* 131(1), p. 33–41.
- Ennuyer, B. (2007). « Le maintien à domicile ». Dans : *Pratiques professionnelles en gérontologie*. Sous la dir. de J.-J. Amyot. Dunod. Chap. 2.
- Espagnacq, M. (2012). « Personnes ayant des limitations fonctionnelles physiques : panorama des aides et aménagements du logement ». Dans : *Dossier Solidarité et santé* 27(juin), p. 1–16.
- Etcheverry, I. (2009). « Les exigences cognitives de la recherche d'informations sur Internet et les difficultés liées à l'âge examinées sous l'angle de la recollection ». Thèse de doctorat. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, Toulouse.
- Faisandier, A. (2012). *Systems Architecture and Design*. Sinergy'Com : Belberaud, France.

- Faivre, J. et J. Schwoerer (2010). « Une nouvelle approche des choix des consommateurs : Le modèle trade-off une application au marché des magnétophones stéréophoniques ». Dans : *Revue française du marketing* 229-230, p. 113–134.
- Featherman, M. S. et P. A. Pavlou (2003). « Predicting e-services adoption : A perceived risk facets perspective ». Dans : *International Journal of Human Computer Studies* 59(4), p. 451–474.
- Fowler, J. W., J. C. Benneyan, P. Carayon, B. T. Denton, P. Keskinocak et G. C. Runger (2011). « An introduction to a new journal for Healthcare Systems Engineering ». Dans : *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering* 1(1), p. 1–5.
- Fozard, J. L. et S. S. Gordon (2001). « changes in vision and hearing with age ». Dans : *Handbook of the psychology of aging*. Sous la dir. de J. E. Birren. 5th editio. Academic Press : San Diego, p. 241–266.
- Freeman, J., S. E. Avons, R. Meddis, D. E. Pearson et W. IJsselsteijn (2000). « Using Behavioral Realism to Estimate Presence : A Study of the Utility of Postural Responses to Motion Stimuli ». English. Dans : *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 9(2), p. 149–164.
- Fries, B. E. (1990). « Comparing case-mix systems for nursing home payment. » Dans : *Health care financing review* 11(4), p. 103–19.
- Galvez-Manriquez, D. (2015). « Evaluation de la capacité à innover : Une approche par auto évaluation et suivi supporté par des analyses multicritères dynamiques ». Thèse de Doctorat. Université de Lorraine.
- Gao, C, K Huang, H Chen et W Wang (2006). « Case-based reasoning technology based on TRIZ and generalized location pattern ». Dans : *Journal of TRIZ in Engineering Design* 2(1), p. 40–58.
- Geman, S. et D. Geman (1984). « Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images ». Dans : *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* PAMI-6(6), p. 721–741.
- Giard, J. et A.-L. Tinel (2004a). *L'innovation technologique au service du maintien à domicile des personnes âgées*. Rapp. tech. Rapport de la Mission Personnes âgées Commandité par le Conseil Général de l'Isère et la Ville de Grenoble.
- Giard, J. et A.-L. Tinel (2004b). *L'innovation technologique au service du maintien à domicile des personnes âgées*. Rapp. tech. Mission Personnes âgées Commandité par le Conseil Général de l'Isère et la Ville de Grenoble.
- Glover, F. (1989). « Tabu Search - Part I ». en. Dans : *ORSA Journal on Computing* 1(3), p. 190–206.
- Goldstein, M. K., R. W. Coleman, S. W. Tu, R. D. Shankar, M. J. O'Connor, M. A. Musen, S. B. Martins, P. W. Lavori, M. G. Shlipak, E. Oddone, A. A. Advani, P. Gholami et B. B. Hoffman (2013). « Translating research into practice : organizational issues in implementing automated decision support for hypertension in three medical centers. » Dans : *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA* 11(5), p. 368–76.
- Gómez de Silva Garza, A. et M. L. Maher (1996). « Design by interactive exploration using memory-based techniques ». Dans : *Knowledge-Based Systems* 9(3), p. 151–161.
- Greenbaum, J. et M. Kyng (1992). *Design at work : Cooperative design of computer systems*. L. Erlbaum Associates Inc.

- Greenhalgh, T., G. Robert, F. Macfarlane, P. Bate et O. Kyriakidou (2004). « Diffusion of Innovations in Service Organizations : Systematic Review and Recommendations ». Dans : *The Milbank Quarterly* 82(4), p. 581–629.
- Gruen, W. (1960). « Preference for new products and its relationship to different measures of conformity. » Dans : *Journal of Applied Psychology* 44, p. 361–364.
- Guitouni, A. et J.-M. Martel (1998). « Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method ». Dans : *European Journal of Operational Research* 109(2), p. 501–521.
- Hatchuel, A. et B. Weil (2008). « C-K design theory : an advanced formulation ». Dans : *Research in Engineering Design* 19(4), p. 181–192.
- Henning, R. A., E. A. Callaghan, A. M. Ortega, G. V. Kissel, J. I. Guttman et H. A. Braun (1996). « Continuous feedback to promote self-management of rest breaks during computer use ». Dans : *International Journal of Industrial Ergonomics* 18(1), p. 71–82.
- Holden, R. J. et B.-T. Karsh (2010). « The technology acceptance model : its past and its future in health care. » Dans : *Journal of biomedical informatics* 43(1), p. 159–72.
- Holland, J. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems : an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. U Michigan Press : Oxford, England.
- Horowitz, R (1999). « Creative problem solving in engineering design ». Thèse de Doctorat. Université de Tel-Aviv.
- Huang, C. et A. Darwiche (1996). *Inference in belief networks : A procedural guide*.
- Huet, J. C., J. L. Paris, K. Kouiss et M. Gourgand (2013). « A new reengineering methodology for the product-driven system applied to the medication-use process ». Dans : *Decision Support Systems* 55(2), p. 599–615.
- Huijts, N., E. Molin et L. Steg (2012). « Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance : A review-based comprehensive framework ». Dans : *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1), p. 525–531.
- INRS (2011). *ED 6094 - Vous avez dit TMS ?* Rapp. tech. Edition INRS.
- Irmak, A, G Bumin et R Irmak (2012). « The effects of exercise reminder software program on office workers' perceived pain level, work performance and quality of life. » Dans : *Work : A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation* 41 Suppl 1, p. 5692–5.
- Ishizaka, A. et P. Nemery (2011). « Selecting the best statistical distribution with PROMETHEE and GAIA ». Dans : *Computers & Industrial Engineering* 61(4), p. 958–969.
- ISO (2010). « ISO 9241 Part 210 : Human-centred design for interactive systems ». Dans : *ISO 9241 Ergonomics of human system interaction*.
- Iung, B., G. Medina-Oliva, P. Weber et E. Levrat (2012). « Using probabilistic relational models for knowledge representation of production systems : A new approach to assessing maintenance strategies ». Dans : *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 61(1), p. 419–422.
- Ives, B. et M. H. Olson (1984). « User Involvement and MIS Success : A Review of Research ». en. Dans : *Management Science* 30(5), p. 586–603.
- Jääskö, V. et T. Mattelmäki (2003). « Observing and probing ». Dans : *Proceedings of the 2003 international conference on Designing pleasurable products and interfaces - DPPI '03*. ACM Press : New York, New York, USA, p. 126.



- Jean, C. (2013). « Comment réussir l'intégration de systèmes technologiques innovants au sein de systèmes complexes organisationnels ? : Application à la télémédecine en France ». Thèse de doctorat. Ecole Centrale des Arts et Manufactures.
- Jean, C., J. Stal-Le Cardinal, M. Jankovic, L. A. Vidal, J.-C. Bocquet et P. Espinoza (2011). « Evaluation médico-économique et organisationnelle pour la conception d'un système de télémédecine : Approche systémique et étude des valeurs ». Dans : *9e Congrès International de Génie Industriel CIGI'11*. Saint-Sauveur, Canada 12-14 octobre 2011.
- Jenkins, S., R. Brown et N. Rutterford (2009). « Comparing Thermographic, EEG, and Subjective Measures of Affective Experience During Simulated Product Interactions ». Dans : *International Journal of Design* 3(2), p. 53–65.
- Jensen, F. V. et T. D. Nielsen (2007). *Bayesian Networks and Decision Graphs*. Information Science and Statistics. Springer New York : New York, NY.
- Jensen, F. (1996). *An introduction to Bayesian networks*.
- Jiang, H., C. Kwong, Y. Liu et W. Ip (2015). « A methodology of integrating affective design with defining engineering specifications for product design ». Dans : *International Journal of Production Research* 58(8), p. 2472–2488.
- Kano, N., N. Seraku, F. Takahashi et S. Tsuji (1984). « Attractive Quality and Must-be Quality ». Dans : *The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, p. 39–48.
- Kappen, H. (2002). « The cluster variation method for approximate reasoning in medical diagnosis ». Dans : *Modeling Bio-medical signals, World Scientific*. World Scientific : Singapore, p. 3–16.
- Karapanos, E., J. Zimmerman, J. Forlizzi et J.-B. Martens (2010). « Measuring the dynamics of remembered experience over time ». Dans : *Interacting with Computers* 22(5), p. 328–335.
- Katz, S. (1983). « Assessing Self-maintenance : Activities of Daily Living, Mobility, and Instrumental Activities of Daily Living ». Dans : *Journal of the American Geriatrics Society* 31(12), p. 721–727.
- Kerjose, R. et A. Weber (2003). « Aides techniques et aménagements du logement : usages et besoins des personnes âgées vivant à domicile ». Dans : *Études et Résultats* 262(9), p. 1–12.
- Kerjose, R. (2003). « Personnes âgées dépendantes : dénombrement, projection et prise en charge ». fr. Dans : *Retraite et société* 39(2), p. 11–35.
- Kim, H. K., S. H. Han, J. Park et J. Park (2016). « Identifying affect elements based on a conceptual model of affect : A case study on a smartphone ». Dans : *International Journal of Industrial Ergonomics* 53, p. 193–204.
- Kim, S.-K. et O. Song (2009). « A MAUT approach for selecting a dismantling scenario for the thermal column in KRR-1 ». Dans : *Annals of Nuclear Energy* 36(2), p. 145–150.
- Kirkpatrick, S., C. Gelatt et M. Vecchi (1983). « Optimisation by Simulated Annealing ». Dans : *Science* 220(4598), p. 671–680.
- Koen, P., G. Ajamian et R. Burkart (2001). « Providing clarity and a common language to the "fuzzy front end" ». Dans : *Research Technology Management* 44(2), p. 46–55.
- Krawtchenko, P. (2004). « Contribution à l'étude de l'intégration du client dans la conduite de projets innovants ». Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL), Nancy, p. 437.

- Kujala, S., V. Roto, K. Väänänen-Vainio-Mattila, E. Karapanos et A. Sinnelä (2011). « UX Curve : A method for evaluating long-term user experience ». Dans : *Interacting with Computers* 23(5), p. 473–483.
- Kurniawan, S., A. King, D. Evans et P. Blenkhorn (2006). « Personalising web page presentation for older people ». Dans : *Interacting with Computers* 18(3), p. 457–477.
- Lamarque, D. (1984). « L'innovation médicale et les dépenses de santé ». Dans : *Gestions Hospitalières* (240), p. 8–25.
- Laperche, B., S. Boutillier, F. Djellal, M. Ingham, F. Picard, S. Reboud, C. Tanguy et D. Uzunidis (2015). *Vieillesse de la population et géront'innovations*. Rapp. tech. Réseau de Recherche sur l'Innovation.
- Laurans, G., P. M. A. Desmet et P. Hekkert (2009). « The emotion slider : A self-report device for the continuous measurement of emotion ». English. Dans : *Proceedings - 2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, ACII 2009*. IEEE, p. 1–6.
- Le, X. H. B., M. Di Mascolo, A. Gouin et N. Noury (2007). « Health Smart Home - Towards an assistant tool for automatic assessment of the dependence of elders ». English. Dans : *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. T. 2007. IEEE, p. 3806–3809.
- Lee, S. et H.-P. Wang (1992). « Modified simulated annealing for multiple-objective engineering design optimization ». Dans : *Journal of Intelligent Manufacturing* 3, p. 101–108.
- Lemmouchi, F., M. D. Mascolo, A. Matta et V. Rialle (2014). « Etude comparative entre les structures de maintien et de soins à domicile de trois pays européens (la France, la Suisse et l'Italie) ». fr. Dans : *Conférence Francophone Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH 7-9 juillet*. Liège, Belgique, p. 8.
- Leonard, D. et J. F. Rayport (1997). « Spark innovation through empathic design. » Dans : *Harvard business review* 75(6), p. 102–113.
- Lettieri, E., L. Bartoli et C. Masella (2013). « Coordinating intra-sector services in health-care : Requirements and elements that managers should take into account ». Dans : *European Management Journal* 31(6), p. 591–601.
- Levrat, E., A. Voisin, S. Bombardier et J. Bremont (1997). « Subjective evaluation of car seat comfort with fuzzy set techniques ». Dans : *International Journal of Intelligent Systems* 12(11-12), p. 891–913.
- Likert, R. (1932). « A technique for the measurement of attitudes. » Dans : *Archives of psychology* 22(140), p. 5–55.
- Lim, Y.-K., E. Stolterman et J. Tenenberg (2008). « The anatomy of prototypes ». Dans : *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 15(2), p. 1–27.
- Lombrail, P., M. Naiditch, D. Baubeau et P. Cuneo (1999). « Les éléments de la performance hospitalière : les conditions d'une comparaison ». Dans : *Etudes et Résultats* 42(12).
- Lu, J. et M. Liechty (2007). « An empirical comparison between nonlinear programming optimization and simulated annealing (SA) algorithm under a higher moments Bayesian portfolio selection framework ». Dans : *Proceedings - Winter Simulation Conference*. IEEE, p. 1021–1027.
- Luarn, P. et H.-H. Lin (2005). *Toward an understanding of the behavioral intention to use mobile banking*.

- Luo, S.-T., C.-T. Su et W.-C. Lee (2011). « Constructing intelligent model for acceptability evaluation of a product ». Dans : *Expert Systems with Applications* 38(11), p. 13702–13710.
- Maders, H.-P. et J.-L. Masselin (2009). *Piloter les risques d'un projet*. Editions d'Organisation : Paris, France, p. 294.
- Malakoff Méderic (2012). *Rapport du projet Maateis. Maintien de l'autonomie des aînés par les technologies et l'innovation sociale*.
- Matta, A., S. Chahed, E. Sahin et Y. Dallery (2012). « Modelling home care organisations from an operations management perspective ». Dans : *Flexible Services and Manufacturing Journal* 26(3), p. 295–319.
- Mattelmäki, T. (2008). « Probing for co-exploring ». en. Dans : *CoDesign* 4(1), p. 65–78.
- Mauborgne, P., S. Deniaud, E. Levrat, E. Bonjour, J.-P. Micaëlli et D. Loise (2015). « Preliminary Hazard Analysis Generation Integrated with Operational Architecture - Application to Automobile ». Dans : *Complex Systems Design & Management*. Sous la dir. de F. Boulanger, D. Krob, G. Morel et J.-C. Roussel. Springer International Publishing : Cham, p. 297–309.
- Meinel, C., L. Leifer et H. Plattner, éd. (2011). *Design Thinking*. Springer Berlin Heidelberg : Berlin, Heidelberg.
- Menard, J. (2007). *Pour le malade et ses proches : chercher, soigner et prendre soin*. Rapp. tech. Paris, France : Présidence de la République, p. 118.
- Meyer, A. (2015). « Quels sont les critères influençant l'acceptabilité des CRM (Customer Relationship Management) par leurs utilisateurs ». Mémoire de Master. Université de Lorraine.
- Michalewicz, Z. et M. Schoenauer (1996). *Evolutionary Algorithms for Constrained Parameter Optimization Problems*.
- Ministère des Affaires sociales et de la Santé. *Code de la santé publique titre II : recherches biomédicales*.
- Minsky, M (1975). « A framework for representing knowledge ». Dans : *The Psychology of Computer Vision*. McGraw-Hill.
- Moitra, D. (1998). « Managing change for software process improvement initiatives : a practical experience-based approach ». Dans : *Software Process : Improvement and Practice* 4(4), p. 199–207.
- Moore, G. C. et I. Benbasat (1991). « Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation ». Dans : *Information Systems Research* 2(3), p. 192–222.
- Morand, P. et D. Manceau (2009). *Rapport officiel. Pour une nouvelle vision de l'innovation*. Rapp. tech. ESCP Europe.
- Naïm, P., P.-H. WUILLEMIN, P. Leray, O. Pourret et A. Becker (2008). *Réseaux Bayésiens*. 3<sup>e</sup> éd. EYROLLES : Paris.
- Nasri, W. et L. Charfeddine (2012). « Factors affecting the adoption of Internet banking in Tunisia : An integration theory of acceptance model and theory of planned behavior ». Dans : *The Journal of High Technology Management Research* 23(1), p. 1–14.
- Neal, R. (1993). *Probabilistic inference using Markov chain Monte Carlo methods - Technical Report CRGTR*. Rapp. tech. Toronto : Department of Computer Science, University of Toronto.

- Nemery, P. et C. Lamboray (2007). « Flow Sort : a flow-based sorting method with limiting or central profiles ». Dans : *TOP* 16(1), p. 90–113.
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Academic Press : San Diego, CA.
- Norman, D. A. (1988). *The Design of Everyday Things*. Doubleday : New York.
- Norman, D. A., K. traduit par : Ben Youssef, C. de Charentenay et S. Sbalchiero (2012). *Design émotionnel : pourquoi aimons-nous (ou détestons-nous) les objets qui nous entourent ?* De Boeck : Bruxelles.
- Pallot, M., B. Trousse, B. Senach et D. Scapin (2010). « Living Lab Research Landscape : From User Centred Design and User Experience towards User Cocreation ». Dans : *First European Summer School "Living Labs"-25-27 Août*. Paris, France.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems : networks of plausible inference*. Morgan Kaufmann.
- Peck, J, D Nightingale et S Kim (2010). « Axiomatic approach for efficient healthcare system design and optimization ». Dans : *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 59(1), p. 469–472.
- Picard, R. (2009). *TIC, santé, autonomie, services : Évaluation de l'offre et de la demande (No.2009/19/CGIET/SG)*. Rapp. tech. Paris : Conseil Général de l'Industrie de l'Energie et des Technologies.
- Pinto, M. R., C. Van Sant, A. Zlotnicki et C. Napoli (2000). « Technical note ». Dans : *Applied Ergonomics* 31(3), p. 317–322.
- Pinto, S., C. Cleren et D. Blum (2010). « Recherche biomédicale : quelle procédure ? Petit précis (non exhaustif) à l'usage du chercheur ». Dans : *La Lettre des Neurosciences* 30(automne-hiver), p. 7–14.
- Pirlot, M. (1996). « General local search methods ». Dans : *European Journal of Operational Research* 92(96), p. 493–511.
- Poplawska, J., A. Labib, D. M. Reed et A. Ishizaka (2014). « Stakeholder profile definition and salience measurement with fuzzy logic and visual analytics applied to corporate social responsibility case study ». Dans : *Journal of Cleaner Production*.
- Poulain, A., R. Piovan, A. De Varax et M. Letellier (2007). *Etudes prospective sur les technologies pour la santé et pour l'autonomie*. Rapp. tech. Alcimed remis à l'ANR et à CNSA.
- Prahalad, C. et V. Ramaswamy (2004). « Co-creation experiences : The next practice in value creation ». Dans : *Journal of Interactive Marketing* 18(3), p. 5–14.
- Project Management Institute (2009). *Guide du corpus des connaissances en management de projet (Guide PMBOK)*. 4ed. Project Management Institute, p. 459.
- Rakotondranaivo, A., J.-P. Grandhaye et F. Guillemin (2006). « Functional and dysfunctional analysis of an health network contribution to the evaluation ». Dans : *9th IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill and Knowledge (ASBoHS'06)*. Nancy, May 22 – 24, 2006, p. 373–378.
- Reerink-boulanger, J. (2012). « Services technologiques intégrés dans l'habitat des personnes âgées : Examen des déterminants ». Thèse de Doctorat. Université de Rennes 2.
- Rialle, V. (2007). *Technologies nouvelles susceptibles d'améliorer les pratiques gérontologiques et la vie quotidienne des malades âgés et de leur famille*. Paris.
- Ritchey, T. (1991). « Analysis and synthesis : On scientific method - based on a study by bernhard riemann ». Dans : *Systems Research* 8(4), p. 21–41.

- Robert, G., T. Greenhalgh, F. MacFarlane et R. Peacock (2010). « Adopting and assimilating new non-pharmaceutical technologies into health care : a systematic review. » en. Dans : *Journal of health services research & policy* 15(4), p. 243–50.
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations*. Free Press : New York.
- Roland Ortt, J., D. J. Langley et N. Pals (2007). « Exploring the market for breakthrough technologies ». Dans : *Technological Forecasting and Social Change* 74(9), p. 1788–1804.
- Romero Bejarano, J. C., T. Coudert, E. Vareilles, L. Geneste, M. Aldanondo et J. Abeille (2014). « Case-based reasoning and system design : An integrated approach based on ontology and preference modeling ». English. Dans : *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 28(01), p. 49–69.
- Roy, B (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Sous la dir. de V. Giard. Economica : Paris, p. 423.
- Ruellan, I. (2010). « Les Gérontechnologies : des technologies nouvelles au service des personnes âgées, de leurs aidants et des soignants ». Mémoire de DU médecin coordinateur d'EHPAD. Université Paris Descartes.
- Rumeau, E. et V. Chirié (2012). « Autonom@dom ». fr. Dans : *Gérontologie et société* 141(2), p. 129–145.
- Saaty, T. et K. Kearns (2014). *Analytical planning : The organization of system*. Sous la dir. d'E. Y. Rodin. Elsevier, p. 216.
- Sanayei, A., S. Farid Mousavi, M. Abdi et A. Mohaghar (2008). « An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming ». Dans : *Journal of the Franklin Institute* 345(7), p. 731–747.
- Sanders, E., E. Brandt et T. Binder (2010). « A framework for organizing the tools and techniques of participatory design ». Dans : *Proceedings of the 11th Biennial Participatory Design Conference on - PDC '10*. ACM Press : Sydney, Australia, 29 Nov - 3 Dec, p. 195–198.
- Sanders, E. B.-N. et P. J. Stappers (2008). « Co-creation and the new landscapes of design ». Dans : *CoDesign* 4(1), p. 5–18.
- Sauer, J. et A. Sonderegger (2009). « The influence of prototype fidelity and aesthetics of design in usability tests : effects on user behaviour, subjective evaluation and emotion. » Dans : *Applied ergonomics* 40(4), p. 670–7.
- Sauer, J., K. Seibel et B. Rüttinger (2010). « The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests. » Dans : *Applied ergonomics* 41(1), p. 130–40.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic Memory : A Theory of Reminding and Learning in Computers and People*. Cambridge University Press.
- Schrijver, A., W. H. Cunningham, W. J. Cook et W. R. Pulleyblank (1997). *Combinatorial Optimization*, p. 368.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development : An Inquiry Into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Transaction Publishers, p. 255.
- SEBoK Authors (2015). *Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) - version 1.5.1*. Hoboken, NJ.
- Segarra Brufau, M. (2015). « Co-conception innovante pour le maintien à domicile de personnes âgées fragiles ». Master Design Global, Mémoire de recherche. ENSGSI.

- Serrière, F. (2013). *Barometre Silver Economy Expo / Senior Strategic - Les Besoins des Seniors : Perspectives pour la Silver Economie*.
- Siegel, C., A. Hochgatterer et T. Dorner (2014). « Contributions of ambient assisted living for health and quality of life in the elderly and care services - a qualitative analysis from the experts' perspective of care service professionals ». Dans : *BMC Geriatrics* 14(1), p. 112.
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial (3rd ed.)* MIT Press.
- Sinclair, M. A. (2005). « Subjective assessment ». Dans : *Evaluation of Human Work*. Sous la dir. d'E. N. Corlett, J. R. Wilson et N Corlett. Third. CRC Press. Chap. 3.
- Skiba, N. (2014). « Processus d'innovation centré sur l'utilisateur : identification des besoins et interprétation de données issues de l'intégration de l'utilisateur dans le processus de co-conception ». Thèse de Doctorat. Université de Lorraine.
- Soullier, N. (2011). « L'implication de l'entourage et des professionnels auprès des personnes âgées à domicile ». Dans : *Etudes et Résultats* 771(8), p. 1–8.
- Staccini, P. et J.-F. Quaranta (2000). « La démarche utilisateur au centre de la conception des systèmes d'information hospitaliers ». Dans : *Techniques Hospitalieres* 645(04), p. 47–51.
- Star, S. L. et J. R. Griesemer (1989). « Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects : Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39 ». Dans : *Social Studies of Science* 19(3), p. 387–420.
- Stoeltzlen, N. (2004). « Intégration de la dimension Visiographique dans les phases amont du processus de conception de produits mécaniques pour favoriser la coopération et la construction commune de projet ». Thèse de doctorat. ENSAM, Paris.
- Suh, N. P. (1998). « Axiomatic Design Theory for Systems ». Dans : *Research in Engineering Design* 10, p. 189–209.
- Syndicat National de Gérontologie Clinique (1994). « A.G.G.I.R. Guide pratique pour la codification des variables. Principaux profils des groupes iso-ressources. » Dans : *La revue de geriatrie* 19(4), p. 249–259.
- Terrade, F., H. Pasquier, J. Reerinck-Boulanger, G. Guingouain et A. Somat (2009). « L'acceptabilité sociale : la prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de l'acceptabilité des systèmes technologiques ». Dans : *Le travail humain* 72(4), p. 383.
- Thomas, J. et D. McDonagh (2013). « Empathic design : Research strategies. » Dans : *The Australasian medical journal* 6(1), p. 1–6.
- Ting, S., W. Wang, S. Kwok, A. H. Tsang et W. Lee (2010). « RACER : Rule-Associated Case-based Reasoning for supporting General Practitioners in prescription making ». Dans : *Expert Systems with Applications* 37(12), p. 8079–8089.
- Ullman, D. G. (1994). *The mechanical design process*. 4th. McGraw-Hill.
- Usmanij, P. A., R. Khosla et M. T. Chu (2013). « Successful product or successful system ? User satisfaction measurement of ERP software ». Dans : *Journal of Intelligent Manufacturing* 24, p. 1131–1144.
- Vellas, B., S. Gillette-Guyonnet, F. Nourhashémi, Y. Rolland, S. Lauque, P. Ousset, S. Moulias, S. Andrieu, B. Fontan, D. Adoue, C. Lafont, R. Baumgartner, P. Garry et J. Albarède (2000). « Chutes, fragilité et ostéoporose chez la personne âgée : un problème de santé publique ». Dans : *La Revue de Médecine Interne* 21(7), p. 608–613.
- Venkatesh, V. et F. D. Davis (2000). « A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model : Four Longitudinal Field Studies. » Dans : *Management Science* 46(2), p. 186.

- Venkatesh, V., M. G. Morris, G. B. Davis et F. D. Davis (2003). « User acceptance of information technology : toward a unified view ». Dans : *MIS Quarterly* 27(3), p. 425–478.
- Viens-Bitker, C et E. Bourguinat (2000). *La gestion d'une innovation complexe : La télémédecine. Séminaire Ressources technologiques et innovation*. Paris, 19 Janvier.
- Villeneuve, E (2012). « Hybridation des retours d'expérience statistique et cognitif pour l'évaluation des risques : application à la déconstruction des aéronefs ». Thèse de Doctorat. INP Toulouse.
- Weber, M (2011). « Customer co-creation in innovations : a protocol for innovating with end users ». Thèse de doctorat. Technische Universiteit Eindhoven.
- Wolpert, D. et W. Macready (1997). « No free lunch theorems for optimization ». English. Dans : *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 1(1), p. 67–82.
- Young, T., S. Brailsford, C. Connell, R. Davies, P. Harper et J. H. Klein (2004). « Using industrial processes to improve patient care ». Dans : *BMJ : British Medical Journal* 328(January), p. 162–164.
- Zhou, F., Y. Ji et R. J. Jiao (2014). « Prospect-Theoretic Modeling of Customer Affective-Cognitive Decisions Under Uncertainty for User Experience Design ». Dans : *Human-Machine Systems, IEEE Transactions on* 44(4), p. 468–483.
- Zhou, F et R. J. Jiao (2013). « An improved user experience model with cumulative prospect theory ». Dans : *Procedia Computer Science* 16, p. 870–877.
- Zhou, F., X. Qu, M. G. Helander et J. Jiao (2011). « Affect prediction from physiological measures via visual stimuli ». Dans : *International Journal of Human Computer Studies* 69(12), p. 801–819.
- Zimmer, B. (2012). « Structuration d'un cluster d'innovation : Application aux projets d'innovation dans une grappe d'entreprises en gérontechnologie ». Thèse de doctorat. Ecole Centrale Paris.
- Zopounidis, C. et M. Doumpos (2002). « Multicriteria classification and sorting methods : A literature review ». Dans : *European Journal of Operational Research* 138(2), p. 229–246.

9

## **Annexe A**

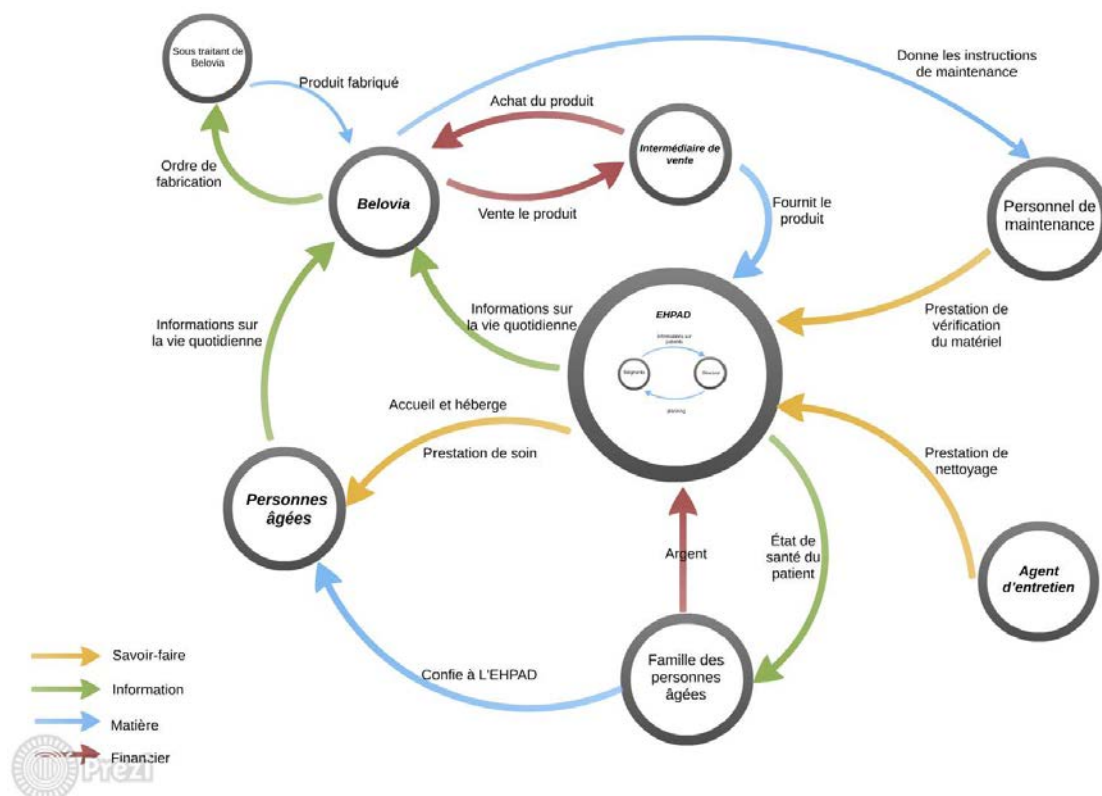
# **Analyse de la valeur pour le dispositif d'aide au transfert des personnes âgées**



Fonction	Critères	Niveau	Flexibilité
F1 : L'outil mobilise le PAD avec l'aide de l'AS	Réduction des TMS	baisse de 5% à 30%	F0
		baisse de 30% à 60%	F1
	Acceptation du PAD d'être mobilisé par l'outil (stigmatisation)	baisse de 60% à 80%	F3
		baisse de 80 à 100 %	F3
		de 1 à 3 fois sur 10	F0
		de 4 à 6 fois sur 10	F0
	Taux d'utilisation de l'outil par l'AS	de 7 à 9 fois sur 10	F1
		10 fois sur 10	F3
	Taux de participation du PAD	5 fois sur 10	F0
		7 fois sur 10	F1
F2 : L'outil permet de rentabiliser les investissements des EHPAD	Niveau de perte d'autonomie de PAD	10 fois sur 10	F3
		100 % (il utilise tous ses membres)	F3
	Niveau de facilité d'utilisation de l'outil	50 % (il utilise uniquement la force de ses bras ou de ses jambes)	F0
		Aucune perte de capacité depuis son arrivée	F3
		Perte de 1 à 10% max	F2
		Perte de 10 à 30 % max	F2
Taux de fatigue du PAD	Perte de 30 à 60 % max	F0	
	> ou = 50%	F0	
Taux de fatigue de l'AS	> ou = 80% (facile)	F3	
	70%	F0	
F3 : L'outil s'adapte à la structure de l'EHPAD	réduction du nombre d'arrêts pour cause de TMS	50%	F1
		40%	F3
	Réduction du temps de transfert des PAD par les AS	70%	F0
		50%	F1
F4 : L'outil s'intègre dans le fonctionnement de l'EHPAD	Espace de stockage nécessaire	40%	F3
		70%	F0
	taille de l'objet par rapport à la taille des couloirs	50%	F1
		80% (permet le croisement avec un chariot de service)	F3
	taille de l'objet par rapport à la taille de l'ascenseur	80% (permet le croisement avec une personne qui marche)	F0
		80% (permet la présence de quelqu'un en plus de l'objet dans l'ascenseur)	F0
encombrement dans la chambre	50% (permet la présence d'un chariot en plus de l'objet dans l'ascenseur)	F1	
F5 : L'outil respecte des réglementations	Réduction du nombre d'aller-retour des AS	de 1 à 2% de la place dans la chambre	F0
		de 2 à 4%	F1
	Taux d'intégration des informations du PAD dans l'outil	100 % (suppression de tous les trajets inutiles)	F3
		50% (Suppression d'un trajet inutile sur 2)	F0
Temps entre chaque chambre	oui : 100%	F2	
	oui : 50 % ou plus	F1	
F6 : L'outil utilise des technologies pour faciliter son utilisation.	Temps de la manœuvre	moins de 50%	F0
		moins d'une minute	F3
	Satisfaction relationnelle (parole)	entre une et deux minutes	F2
		de deux à trois minutes	F0
	Poids maximal du PAD	150 kg	F0
		100 kg	F1
Poids maximal supporté par l'outil	150 kg	F0	
	< à 25 kg (femme)	F3	
F7 : L'outil optimise l'activité des AS	Poids que porte l'AS	< à 50kg (homme)	F3
		< à 10min	F0
	Temps de la manœuvre	< à 5min	F1
		< à 1 min	F3
Accès à l'outil	50 % oui	F0	
	70 % oui	F1	
F8 : L'outil s'adapte aux pathologies des PAD	Satisfaction relationnelle (parole)	85 % oui	F3
		< 5 min	F0
	Temps par patient à faire tous les transferts (lever, assoir, coucher, toilette, changer...)	< 1min	F1
		< 10 s	F3
	Satisfaction relationnel (parole)	< 20 min	F0
		< 15 min	F1
Douleur (sur toute l'activité) des AS	< 10min	F3	
	50 % oui	F0	
	70 % oui	F1	
	85 % oui	F3	
F8 : L'outil s'adapte aux pathologies des PAD	Acceptation de l'outil du PAD	20 % oui	F0
		50 % oui	F1
	Confort du PAD par rapport à sa pathologie	80 % oui	F3
		100 % oui	F3
	Facilité d'utilisation par rapport à la pathologie	oui à 50% (négociation)	F1
		oui à 100%	F3
Degré d'autonomie du PAD sur l'utilisation de l'outil par rapport à sa pathologie	oui à 50%	F1	
	oui à 100%	F3	

## Annexe B

# Diagramme d'interaction des acteurs projet Ombilift



## Annexe C

# Questionnaire d'évaluation de l'acceptabilité pour le logiciel de pause active

Le questionnaire a été créé avec « Google forms ». Le lien a été envoyé aux participants pour permettre la réponse en ligne. Une version est disponible sur : <https://docs.google.com/forms/d/1l8TXvcuuc4ZyQiiefCy608RKWYfDU9zzx8FE8RyFysM/viewform>.

## Questionnaire logiciel de pause active

D'après l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS) :

« pour éviter la fatigue et les TMS, il est conseillé de prévoir pour les personnels travaillant sur ordinateur une interruption avec changement d'activité. Des pauses fréquentes mais courtes (5 minutes toutes les heures quand la tâche est intensive, ¼ d'heure toutes les 2 heures si la tâche l'est moins) sont à privilégier avant l'installation de la fatigue. Il faut bouger pendant les pauses. »

Un groupe d'étudiants-développeurs travail actuellement dans un logiciel destinée à toute personne travaillant sur ordinateur, de manière permanente ou occasionnelle.

Le logiciel permet de :

- Rappeler le temps et durées des pauses suggérés pour le personnel travaillant sur ordinateur
- Proposer d'exercices diminuant les risques de TMS et des maladies liées au travail face à l'écran
- Une fois installée aucune manipulation est nécessaire, calcule automatique des moments et durées des pause proposées

Nous faisons appel à votre participation pour nous aider estimer la pertinence de ce projet ainsi que à sont amélioration en remplissant le questionnaire suivant :

\* Required

### **Capture d'écran du prototype avec un exercice proposé pendant la pause :**



En désaccord			Neutre	En accord		
complètement	moyennement	faiblement		faiblement	moyennement	complètement
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

**Je pense que le logiciel va aider à diminuer les risques de TMS \***

TMS (troubles musculo-squelettiques)

1 2 3 4 5 6 7

Complètement en désaccord        Complètement en accord

**Je pense qu'il va m'aider à réduire la fatigue au bureau \***

1 2 3 4 5 6 7

Complètement en désaccord        Complètement en accord

**Je pense qu'il est utile pour moi \***

1 2 3 4 5 6 7

Complètement en désaccord        Complètement en accord

**Je pense qu'il sera facile à utiliser \***

1 2 3 4 5 6 7

Complètement en désaccord        Complètement en accord

---

**Je pense que je serai capable de l'utiliser sans aucune aide \***

1 2 3 4 5 6 7

---

Complètement en désaccord        Complètement en accord

---

**Il sera possible d'utiliser le système au travail \***

1 2 3 4 5 6 7

---

Complètement en désaccord        Complètement en accord

---

**Je pense que l'usage du logiciel sera complètement sous mon control \***

1 2 3 4 5 6 7

---

Complètement en désaccord        Complètement en accord

---

**Je pense que mes collègues seront favorables a l'usage du système \***

1 2 3 4 5 6 7

---

Complètement en désaccord        Complètement en accord

---

**Je pense que mes supérieurs seront favorables à l'usage du système \***

1 2 3 4 5 6 7

---

Complètement en désaccord        Complètement en accord

---

**Je pense que j'utiliserai le logiciel s'il était disponible \***

1 2 3 4 5 6 7

---

Complètement en désaccord        Complètement en accord

---

## Caractéristiques démographiques

**êtes-vous homme ou femme ? \***

- Femme  
 Homme

**Quelle est votre âge ? \***

## **Annexe D**

# **Outils de collecte de données pour le cas du dispositif d'enfilage de bas de contention**

**Questionnaire pour les professionnels de santé**

Merci de votre participation, pouvez-vous donner vos perceptions sur le dispositif :

		Ne peut pas répondre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Utilité	Facilite l'enfilage											
	Facilite votre travail											
	Diminue les effets indésirables des malades (frottement, écorchure...)											
	Diminue les complications relatives aux troubles musculo-squelettiques (TMS)											
	Améliore l'observance du traitement											
Image	Améliore votre image											
	Améliore l'image de l'établissement											
	L'esthétique du dispositif est adéquate (couleurs, forme ...)											
	Peut diminuer les douleurs musculaires et articulaires liées à l'enfilage répété											
	Peut diminuer les forces musculaires requises lors de l'enfilage											
	Rend l'enfilage plus confortable											
Facilité Usage	Il est facile à utiliser											
	La sonorité est adéquate											
Influence Sociale	Mes collègues seront favorables à l'utilisation de ce dispositif											
	Ma hiérarchie sera favorable à l'utilisation de ce dispositif											
	Il existe de moyens d'asepsie											
	J'ai l'intention d'utiliser ce dispositif											

Document confidentiel à ne pas diffuser

**Grille d'observation de l'enfilage du bas par l'expérimentateur et/ou vidéo**

	Sans dispositif	Avec dispositif	Remarques
Temps d'enfilage (sec)			
Pénibilité de l'opération			
Douleur du malade			
Erreurs de manipulation			
Facilité d'usage			
Effets indésirables (frottement, écorchure...)			
Anxiété due à l'enfilage du bas			
Confort à l'enfilage (postures,...)			

Citez 3 mots pour décrire :

- Son aspect visuel
- Son univers sonore
- Votre impression en général



## **Annexe E**

# **Recensement des technologies pour le maintien à domicile par activité, risques et besoins**

**D. Tableau complet**

ACTIVITÉ	TÂCHE	RISQUE	BESOIN	"GIR"	TECHNOLOGIE DISPONIBLE	SERVICE		
Maintien de l'équilibre et la posture	Transférer le corps assis		Mobilité	B	Coussin tournant Plaques tournantes			
				C	Planches de glissement, tapis glissants et planches permettant de tourner Plates-formes de transfert			
	Se lever: changer d'étendu à assis			Mobilité	A	Potences de suspension autoporteuses/Echelles de corde		
					B	Manche de lit		
					C	Lit articulé Lève-personnes		
				Chute	Prévention	B		Supports de bras (*)
						C		
	Sécurité	(*)	Détecteur de chute et autres périphériques [1]	Téléassistance				
	Se lever: changer d'assis à debout			Mobilité	B	Coussins ou systèmes ajoutés aux sièges pour aider une personne à se lever ou à s'asseoir Surélévateurs de pieds de meubles		
			C	Fauteuil qui sert à redresser				

42

Hygiène de l'élimination urinaire et fécale	Manipuler les vêtements		Mobilité	B C	Vêtements adaptés	
	S'asseoir/se lever		Mobilité	B C	Surélévateurs de WC Cuvettes de WC avec un mécanisme de lavage incorporé pour aider à s'asseoir et à se lever Bassins de lit/Sonde/Flacon à urine	
	Maintenir la posture	Chute	Prévention	B	Supports de bras et supports dorsaux (*)	Téléassistance
				C		
	Sécurité	(*)	Détecteur de chute et autres périphériques			
S'essuyer	Manque d'hygiène	Hygiène et soins personnels	B C	Douchettes et sècheirs à air chaud adaptables aux toilettes		
Éviter les fuites involontaires	Incontinence	Hygiène et soins personnels	C	Sous-vêtements de protection/Couche		

Hygiène générale	Ouvrir et fermer le robinet	Brûlure	Prévention	B	Robinet thermostatique			
				C				
	Entrer/Sortir/Maintenir l'équilibre			Mobilité	B	Chaises de bain/de douche, tabourets, supports dorsaux et sièges	Téléassistance	
					C	Brancards pour le bain, tables de douche et tables à langer		
				Chute	Prévention	B		Tapis de bain, tapis de douche et bandes antidérapantes/Supports de bras (*)
						C		Détecteur de chute et autres périphériques
				Sécurité				
Se savonner			Mobilité	B C	Distributeurs de savon avec infra-rouges Gants de toilette, éponges et brosses avec support, poignée ou pince de fixation			

43

Soins esthétiques	Se raser	Blessure	Mobilité	B	Rasoir avec fixation palmaire	Barbier à domicile		
			C					
	Se coiffeur		Blessure	Prévention	B		Barbier à domicile	
				C				
	Prendre soin des ongles		Blessure	Mobilité	B	Brosse ou peigne avec fixation palmaire	Coiffeur à domicile	
				C				
		Prendre soin des dents		Blessure	Prévention	B	Coupe-ongles fixe	
					C			
	Prendre soin des dents		Blessure	Prévention	B	Coupe-ongles avec lumière et loupe		
				C				
Prendre soin des dents		Blessure	Mobilité	B	Brosse avec fixation palmaire, brosse électrique			
			C					
			Hygiène et soins personnels	A	C2S PRO [2]			
B								
C								

Habillage et déshabillage	Reconnaître et attraper les vêtements		Stimulation	B	Détecteurs de couleur parlants, labels		
			C				
	Se chauffer		Blessure	Mobilité	B	Porte-habits de manche large	
				C			
	S'habiller la part supérieur		Blessure	Mobilité	B	Chausse-pied de manche large	
				C			
	S'habiller la part inférieur		Blessure	Mobilité	B	Chaussures adaptés	
				C			
S'habiller la part inférieur		Blessure	Mobilité	B	Vêtements adaptés		
			C				
S'habiller la part inférieur		Blessure	Mobilité	B	Produits d'assistance permettant d'enfiler les chaussettes et les collants		
			C				
S'habiller la part inférieur		Blessure	Mobilité	B	Vêtements adaptés		
			C				

44

	Boutonner		Mobilité	B	Tire-boutons, crochets permettant de manœuvrier les fermetures éclair	
				C	Vêtements adaptés	

Ménage	Balayer et nettoyer les sols	Chute	Mobilité	B	Balai électrique	Aide humaine ménagère [3]	
			C				
			Prévention	B	Robot aspirateur		
			C				
	Laver la ligne et faire le repassage	Brûlure	Blessure	Sécurité	(*)		Détecteur de chute et autres périphériques
				Mobilité	B		Lave-linge avec charge supérieur
				C			
				Prévention	B		Corbeilles à linge sur roulettes
	Faire les courses [4]		Blessure	Prévention	B		Planches et tables à repasser d'haut adaptable
				C			
	Réceptionner et ranger les courses	Vol	Blessure	Mobilité	B		Déambulateur avec panier
				C			
Fermer et ouvrir les volets	Vol	Blessure	Mobilité	B, C	Pack de communication pour volets roulants [5]		
			Prévention	B, C			
			Sécurité	(*)			

45

Repas	Préparer le repas		Mobilité		Robot de cuisine	Aide humaine ménagère, service de <i>catering</i>	
			Confort	B, C (**)			
		Blessure	Prévention				
		Brûlure	Prévention				
		Intoxication [5]	Prévention	B			
	Accident domestique	Sécurité	B, C (*)	Détecteur de fumé/de gaz communicant	Téléassistance		
	Prendre le repas et boire	Débordement	Confort	Mobilité	B, C	Assiette creuse/ verre adapté	
						Nappe anti-glisserment	
		Dénutrition [6]	Prévention	Mobilité	B	Couvert avec subjectation palmaire, couvert avec la fonction de couteau et fourchette	
					C		
B					Alarme de rappel		
C							

Déplacement dans la maison	Se déplacer généralement		Mobilité	A (*)	Canne		
				B	Canne, déambulateur		
				C	Fauteuil Robot d'assistance à la marche		
				B, C	Supports de bras (*) Balisage et parcours lumineux [7] (*)		
	Monter et descendre les escaliers		Chute	Sécurité	(*)	Détecteur de chute	Téléassistance fixe
					B	Supports de bras	
					C	Monte-escalier, ascenseur	

46

Déplacement dehors la maison	Ouvrir et fermer portes		Mobilité	B	Adaptateur pour les clés				
				C	Mande magnétique pour les clés				
	Marcher [8]			Mobilité	B	Scooter ou fauteuils roulants motorisés	Téléassistance mobile		
					Désorientation [9]	Prévention		B	Géolocalisation
					Agression [9] (*)	Sécurité		B	

Gestion des problèmes de santé et soins sanitaires	Prendre la médication	Oubli	Prévention	B	Piluliers avec alarme et lumière	Rappel de pris de médication avec téléassistance	
				C			
	Utiliser matériels [10]	Maladresse	Stimulation	Mobilité	B	Pictogrammes avec séquence	Rappel d'usage avec téléassistance (vidéoconférence)
					C		
	Acheter la médication [4]	Maladresse	Stimulation	Sécurité	B	Logiciels permettant la communication face à face	Répartition pharmaceutique à domicile
					C		
	Gérer les soins médicaux [4]			Santé	A (**)	Dispositifs de télésanté: visiophonie, capteurs, détecteurs d'activité, crayon communicant, biométrie...	Télésanté, soins à domicile
					B		
					C		
					Oubli [11]		
C							

47

Gestion des affaires de la maison	Gérer le budget	Problème financière	Stimulation	B	Produits d'assistance à la (ré)éducation des aptitudes cognitives	Télégestion
	S'occuper des papiers et factures	Problème administratif		C		
	Envoyer et réceptionner les courriers et les colis	Maladresse	Stimulation	B, C		Télégestion
		Vol	Sécurité	B, C		Téléassistance
Soin des animaux domestiques [12]	Oubli	Stimulation	B	Dispositif de rappel de tâche	Aidant naturel	
			C			

Loisir intérieur	Écouter de la musique	Manque d'audition	Stimulation	(***)	Aides auditives, amplificateurs	
	Lire	Manque de vue	Stimulation	B	Matériels de lecture en gros caractères	
				C	Matériels de lecture avec restitution orale	
	Voire TV	Manque d'audition ou/et de vue	Stimulation	(***)	Systèmes vidéo agrandissant l'image	
		Communication				
Se communiquer avec l'extérieur			Communication	(***)	Tablet, PC et autres technologies de communication simples et adaptés aux PA	
			Stimulation	(***)		

Loisir extérieur	Partir en voyage/prendre l'autobus [4]		Mobilité	B	Sièges et coussins pour véhicules motorisés et accessoires et adaptations concernant l'assise dans les véhicules	Associations de PA pour voyager
				C	Produits d'assistance au transfert d'une personne à l'intérieur ou à l'extérieur de véhicules	
	Faire de la jardinerie		Stimulation	(***)	Garden Âge [13]	
			Mobilité	(***)		
	Faire exercice		Stimulation	(***)		Culture&Compagnie
			Mobilité	(***)		Zen fitness [14]

48

Relations personnelles	Accueillir visite	Chute [15]	Prévention	(***)		Téléassistance
			Sécurité		Détecteur de chute	
		Vol	Sécurité		Serrure communicante	
	Isolement	Chute [15]	Communication	B, C		Logiciels permettant la communication face à face, ensembles et tableaux de lettres et de symboles
			Stimulation			
	Décrocher le téléphone	Chute [15]	Prévention	(***)		
		Sécurité	(***)		Détecteur de chute	Téléassistance
Maintenir relation	Isolement	Stimulation	(***)		Robot compagnon, Animal Robotique	
		Communication			Tablet, ordinateurs adaptés pour les PA...	
		Stimulation	(***)			

**Éclaircissements :**

(\*) Pas nécessaire pour les personnes avec une classification A, mais recommandable comme élément préventif ou de sécurité.

(\*\*) Pas nécessaire pour les personnes avec une classification A, mais utile comme élément de confort.

(\*\*\*) Tâche sans classification selon « GIR ». Aides et technologies pour tous les PA avec besoin de communication, stimulation.

[1] Périphériques de téléassistance : bracelet, pendentif, détecteur d'activité, montre, tirette d'appel...

[2] Système de nettoyage de prothèses dentaires.

[3] Service de téléassistance et téléalarme pour sécuriser la maison en cas de vol ou chute aussi recommandé.

[4] Même besoin de mobilité et risques que les activités de déplacement dehors la maison.

[5] En cas d'utiliser des aliments périssables.

[6] En cas d'oublier de boire ou manger.

[7] Minimiser le risque de chute pendant la nuit.

[8] Même besoin de mobilité que le déplacement général dans la maison.

[9] Nous considérons seulement le niveau B parce qu'une personne avec niveau C ne marche pas seule.

[10] Matériel sanitaire (bouteille d'oxygène par exemple).

[11] Oubli d'un rendez-vous avec le médecin.

[12] Tâche considérée: nourrir les animaux.

[13] Dispositif composé d'une jardinière sur roulettes à hauteur de table réglable et d'une série outils ergonomiques (sécateur, griffe, transplantoir et arrosoir) intégrés.

[14] Espace convivial et sensoriel dédié aux résidents et à leurs familles.

[15] Risque de chute si la sonnette ou le téléphone sonne quand la personne âgée est en train de faire une autre activité.

49

## **Annexe F**

# **Questionnaire d'évaluation pour la démarche de co-adaptation**

## Questionnaire

L'objectif de cet enquête est d'étudier l'environnement de la personne âgée pour analyser le degré de fragilité en déterminant ses besoins et les risques.

### Sommaire

Partie A. Environnement

- A.1. Situation personnelle
- A.2. Parcours résidentiel
- A.3. Description du logement

Partie B. Degré de fragilité

Partie C. Risques et besoins. Technologies et aménagement de la maison

### Éclaircissements

Ce questionnaire est adressé aux personnes âgées qui souhaitent rester chez elles le plus longtemps possible et à leurs aidants. Si l'enquête se réalise par téléphone, les questions en vert doivent être répondues par un aidant (enfant ou aide soignant). Par contre, si le questionnaire se réalise à la maison, les questions en vert seront vérifiées par l'enquêteur. Si possible toutes les autres questions doivent être répondues par la personne âgée mais validées par un aidant. Si la personne âgée a des déficiences cognitives claires le questionnaire sera répondu directement par un aidant.

### PARTIE A. ENVIRONNEMENT

#### A.1 SITUATION PERSONNELLE

1. Vous êtes :
  - Homme
  - Femme
2. Votre année de naissance : \_\_\_\_\_
3. Votre situation familiale :
  - Célibataire ou seul(e)
  - Marié(e) ou en couple
  - Veuf (ve)
  - Divorcé (e)
  - Autre (précisez) \_\_\_\_\_
4. Avez-vous des enfants ?
  - Non
  - Oui. Combien ? \_\_\_\_\_
5. Habitez-vous...
  - En couple
  - Avec un enfant
  - Avec un aidant professionnel
  - Autres : \_\_\_\_\_
6. Disposez-vous d'aide professionnelle ? Indiquez quel type d'aide et combien d'heures par semaine.
  - Aide ménagère : \_\_\_\_\_
  - Aide soignante : \_\_\_\_\_
  - Infirmier : \_\_\_\_\_

#### A.2. PARCOURS RÉSIDENTIEL

7. Type d'habitat:
  - Maison particulière
    - Plusieurs étages
      - Avec escaliers
      - Avec ascenseur
    - Un seul étage
  - Immeuble
    - Avec ascenseur
    - Sans ascenseur
    - Avec escaliers dans la maison (duplex)
  - Autres : \_\_\_\_\_
8. Type de logement :
  - Propriétaire
  - Locataire
  - Autres : \_\_\_\_\_
9. Habitat en milieu :

- Urbain
  - Rural
  - Semi-urbain
10. Dans votre quartier, avez-vous facile accès à ces services ?
- Commerce
    - Supermarché
    - Pharmacie
  - Hôpital ou centre sanitaire
  - Banque
  - Poste
  - Equipement culturel ou de loisir
  - Transports en commun
  - Autre (préciser)
11. Avez-vous des voisins ?
- Non
  - Oui. En cas d'urgence, croyez-vous qu'ils pourraient vous aider ?
    - Oui
    - Non

### A.3. DESCRIPTION DU LOGEMENT

12. Est-ce un lieu facile à vivre... (Indiquer le niveau de difficulté et les motifs)

	Facile	Moyen	Difficile
Pour l'accès extérieur			
La circulation intérieure			
Distribution des pièces			
Occupation de l'espace			

13. Numéro et type de pièces :
- Cuisine
  - Chambre : \_\_\_\_
  - Salle de bain : \_\_\_\_
  - Salle : \_\_\_\_
  - Entrée/Couloir
  - Autres : \_\_\_\_\_

14. Pour déterminer le niveau de risque de l'habitat, indiquez quels éléments dispose chaque pièce de la maison :

CUISINE	
	La position des installations (plaques, four, évier, réfrigérateur) permet un accès facile, sûr et bien éclairé.
	Sol antidérapant
	Cuisinière dotée d'un dispositif de sécurité qui coupe le gaz et éteint une plaque électrique
	Éclairage suffisant et bien orienté
	La position centrale de la table permet de s'asseoir à tout moment et offre un point d'appui complémentaire permanent.
	Au moins 2 prises de courant par mètre.

SALLE DE BAIN	
	Barre d'appui pouvant faire usage éventuellement de porte serviette
	Robinets avec limitation de la température de l'eau chaude à 60°.
	Fond plat de la douche/baignoire antidérapant, tapis ou pastille autocollant dans le fond
	Baignoires et bacs à douche au niveau du sol de façon à être enjambés facilement
	Accès aux toilettes dégagé pour en faciliter l'accès
	Porte d'ouverture vers l'extérieur pour éviter l'enfermement en cas de chute ou de malaise.
	Porte équipée de serrures pouvant s'ouvrir de l'extérieur pour secourir une personne blessée ou atteinte d'un malaise qui s'est enfermée

ENTRÉE/COULOIR	
	Pas de la porte avec un haut inférieur à 25mm
	Sol antidérapant
	Supports ou bars à côté de la porte
	Interrupteur localisé à proximité directe de la porte du logement pour éviter tout cheminement sans lumière.



	Éclairage de luminosité suffisant, bien orienté et de qualité constante.
	Sols débarrassés de tout obstacle

CHAMBRE ET SALLE	
	Sol antidérapant
	Fixation des tapis au sol
	Sols débarrassés de tout obstacle
	Sols au même niveau pour éviter tout ressaut.
	Marches ou dénivellations signalées par un revêtement ou une couleur différente.
	Meubles positionnés le long des murs pour offrir des appuis lors des déplacements.
	Pas fils électriques sur le sol, prise de courant en nombre suffisant et bien réparties pour couvrir l'ensemble des parois.
	Dimension des fenêtres permettant donner une vue sur l'extérieur même en position assise.
	Manipulation des persiennes sans risque.
	Éclairage électrique commandé directement à l'entrée de chaque pièce par un interrupteur positionné près de la poignée de la porte.

Eléments		ESPACES COMMUNAUTAIRES ET AUTRES	
Escaliers			Éclairage homogène sans zone d'ombre sur tout le cheminement et indirect pour éviter l'éblouissement en montant ou en descendant
			Main courante correctement positionnée sur les deux côtés et débordante de 30 cm à chaque extrémité pour en faciliter l'accès
			Hauteurs de marche maximum de 16,5 cm
			Hauteurs de marche constantes de bas en haut de l'escalier
			Nez de marches visibles par leur contraste avec la marche.
			Marches recouvertes de revêtements antidérapants
			Volées interrompues par un palier chaque 20 marches
			Aucune porte qui s'ouvre sur la cage d'escalier.
Ascenseur			Boutons de commandes intérieures et extérieures correctement positionnés en hauteur et de conception rendant un usage facile
			Même niveau du sol de l'ascenseur à l'arrêt que celui du niveau de palier.
			Intérieur équipé d'une main courante pour un appui périphérique.
Porte extérieur			Porte équipée d'une ferme porte en facilitant l'usage.
			Portes équipées de ferme-portes aidant leur ouverture sans renvoi rapide
			Portes avec une position permettant de les maintenir ouvertes pour le passage lent ou chargé

(Signalez quels éléments disposent l'habitat)

15. Est-ce que vous avez des autres aménagements ? En cas affirmatif indiquer l'aménagement et la pièce.

- Non
- Oui : \_\_\_\_\_

16. Disposez-vous...

- d'un système de téléassistance ?
  - Non
  - Oui
- d'un système d'alarme de sécurité ?
  - Non
  - Oui
- d'un système de détection de gaz ou fumé ?
  - Non

#### PARTIE B. DEGRÉ DE FRAGILITÉ

Pour chaque tâche ci-dessus, indiquez le degré de difficulté A, B, C :

- A. Fait seul : totalement, habituellement et correctement
- B. Fait partiellement, non habituellement, non correctement
- C. Ne fait pas

Vous pouvez ajouter des commentaires si nécessaire.

ACTIVITÉ	TÂCHE	GIR
1. Maintien de l'équilibre et la posture	Transférer le corps assis	
	Se lever: changer d'étendu à assis	
	Se lever: changer d'assis à debout	
2. Hygiène de l'élimination urinaire et fécale	Manipuler les vêtements	
	S'asseoir/se lever	
	Maintenir la posture	
	S'essuyer	
	Éviter les fuites involontaires	
3. Hygiène générale	Ouvrir et fermer le robinet	
	Entrer/Sortir/Maintenir l'équilibre	
	Se savonner	
4. Soins esthétiques	Se raser	
	Se coiffeur	
	Prendre soin des ongles	
	Prendre soin des dents	
5. Habillage et déshabillage	Reconnaître et attraper les vêtements	
	Se chausser	
	S'habiller la partie supérieure du corps	
	S'habiller la partie inférieure du corps	
	Boutonner	
6. Ménage	Balayer et nettoyer les sols	
	Laver le linge et faire le repassage	
	Faire les courses	
	Réceptionner et ranger les courses	
	Fermer et ouvrir les volets	
7. Repas	Préparer le repas	
	Prendre le repas et boire	
8. Déplacement dans la maison	Se déplacer généralement	
	Monter et descendre les escaliers	
9. Déplacement en dehors de la maison	Ouvrir et fermer les portes	
	Marcher	
10. Gestion des problèmes de santé et soins sanitaires	Prendre la médication	
	Utiliser des matériels médicaux (oxygène, prothèse...)	
	Acheter la médication	
	Gérer les soins médicales	
11. Gestion des affaires de la maison	Gérer le budget	
	S'occuper des papiers et des factures	
	Envoyer et réceptionner les courriers et les colis	
	Soin des animaux domestiques	
12. Loisir intérieur	Écouter de la musique	
	Lire	
	Regarder la TV	
	Se communiquer avec l'extérieur	
13. Loisir extérieur	Partir en voyage/prendre l'autobus	
	Faire de la jardinerie	

	Faire de l'exercice	
14. Relations personnelles	Accueillir des visites	
	Décrocher le téléphone	
	Maintenir des relations	

**PARTIE C. RISQUES ET BESOINS. TECHNOLOGIES ET AMÉNAGEMENT DE LA MAISON**

1. Avez-vous eu un accident domestique (chute, intoxication) pendant la dernière année ? En cas affirmatif indiquez le type d'accident, la pièce de la maison où a eut lieu et les motifs.

- Non
- Oui

\_\_\_\_\_

2. Pour vous, mais aussi en pensant aux personnes vous rendent visite ou éventuellement vous aident, quelles sont les caractéristiques du logement qui sont les plus importantes pour vivre tous les jours dans de bonnes conditions ?

3. De tous ces besoins ci-dessus, aimerez-vous avoir des technologies ou service pour les répondre ?

- Santé
- Mobilité
- Confort et logement
- Sécurité
- Lien social et communication
- Stimulation
- Prévention
- Hygiène et soins personnels

## **Annexe G**

### **Questionnaire d'évaluation du cas d'étude co-adaptation**

Personnes enquêtées: MN, AB , fille de MN et AB), aide-soignant.

## Partie A. Environnement

### A.1. Situation personnelle

1. Vous êtes :

AB : Homme

MN : Femme

2. Votre année de naissance :

AB : 1920

MN : 1923

3. Votre situation familiale : Mariées

4. Avez-vous des enfants ? Oui, 5

5. Habitez-vous... En couple

6. Disposez-vous d'aide professionnelle ? Indiquez quel type d'aide et combien d'heures par semaine.

o Aide ménagère : de lundi à vendredi, de 9 à 15h.

o Aide soignante : de lundi à dimanche, de 22 à 11h.

### A.2. Parcours résidentiel

7. Type d'habitat : Maison particulière avec escaliers

8. Type de logement : Propriétaires

9. Habitat en milieu : Urbain

10. Dans votre quartier, avez-vous facile accès à ces services ?

o Commerce

▪ Supermarché

▪ Pharmacie

o Hôpital ou centre sanitaire

o Banque

o Poste

o Equipement culturel ou de loisir

o Transports en commun

o Autre (préciser)

11. Avez-vous des voisins ?

o Oui. En cas d'urgence, croyez-vous qu'ils pourraient vous aider ?

▪ Oui

### A.3. Description du logement

12. Est-ce un lieu facile à vivre...

	Facile	Moyen	Difficile
Pour l'accès extérieur			✗ Escalier
La circulation intérieure		✗	
Distribution des pièces	✗		
Occupation de l'espace	✗		

13. Nombre et type de pièces :

o Cuisine

o Chambres : 3 (ils n'utilisent que 1)

o Salles de bain : 3 (ils n'utilisent que 2)

o Salle

o Entrée

14. Aménagements de chaque pièce de la maison :

CUISSINE	
✗	La position des installations (plaques, four, évier, réfrigérateur) permet un accès facile, sûr et bien éclairé.
	Sol antidérapant
	Cuisinière dotée d'un dispositif de sécurité qui coupe le gaz et éteint une plaque électrique
✗	Éclairage suffisant et bien orienté
✗	La position centrale de la table permet de s'asseoir à tout moment et offre un point d'appui complémentaire permanent.
	Au moins 2 prises de courant par mètre.
SALLE DE BAIN	
✗	Barre d'appui pouvant faire usage éventuellement de porte serviette
	Robinet avec limitation de la température de l'eau chaude à 60°.
✗	Fond plat de la douche/baignoire antidérapant, tapis ou pastille autocollant dans le fond
✗	Baignoires et bacs à douche au niveau du sol de façon à être enjambés facilement

X	Accès aux toilettes dégagé pour en faciliter l'accès
	Porte d'ouverture vers l'extérieur pour éviter l'enfermement en cas de chute ou de malaise.
	Porte équipée de serrures pouvant s'ouvrir de l'extérieur pour secourir une personne blessée ou atteinte d'un malaise qui s'est enfermée

ENTRÉE/COULOIR	
X	Pas de la porte avec un haut inférieur à 25mm
	Sol antidérapant
	Supports ou bars à côté de la porte
	Interrupteur localisé à proximité directe de la porte du logement pour éviter tout cheminement sans lumière.
X	Éclairage de luminosité suffisant, bien orienté et de qualité constante.
X	Sols débarrassés de tout obstacle

CHAMBRE ET SALLE	
	Sol antidérapant
X	Fixation des tapis au sol
	Sols débarrassés de tout obstacle
X	Sols au même niveau pour éviter tout ressaut.
	Marches ou dénivellations signalées par un revêtement ou une couleur différente.
X	Meubles positionnés le long des murs pour offrir des appuis lors des déplacements.
	Pas fils électriques sur le sol, prises de courant en nombre suffisant et bien réparties pour couvrir l'ensemble des parois.
X	Dimension des fenêtres permettant donner une vue sur l'extérieur même en position assise.
X	Manipulation des persiennes sans risque.
	Éclairage électrique commandé directement à l'entrée de chaque pièce par un interrupteur positionné près de la poignée de la porte.
X	

Eléments		ESPACES COMMUNAUTAIRES ET AUTRES	
X	Escaliers		Éclairage homogène sans zone d'ombre sur tout le cheminement et indirect pour éviter l'éblouissement en montant ou en descendant
			Main courante correctement positionnée sur les deux côtés et débordante de 30 cm à chaque extrémité pour en faciliter l'accès
		X	Hauteurs de marche maximum de 16,5 cm
		X	Hauteurs de marche constantes de bas en haut de l'escalier
			Nez de marches visibles par leur contraste avec la marche.
			Marches recouvertes de revêtements antidérapants
			Volées interrompues par un palier chaque 20 marches
		X	Aucune porte qui s'ouvre sur la cage d'escalier.
	Ascenseur		Boutons de commandes intérieures et extérieures correctement positionnés en hauteur et de conception rendant un usage facile
			Même niveau du sol de l'ascenseur à l'arrêt que celui du niveau de palier.
			Intérieur équipé d'une main courante pour un appui périphérique.
			Porte équipée d'une ferme porte en facilitant l'usage.
X	Porte extérieur		Portes équipées de ferme-portes aidant leur ouverture sans renvoi rapide
		X	Portes avec une position permettant de les maintenir ouvertes pour le passage lent ou chargé

(Les aménagements indiqués en vert correspondent à des changements récents)

15. Est-ce que vous avez des autres aménagements ? *Lit articulé*

16. Disposez-vous...

- d'un système de téléassistance ? Quel type ? Avantages ou inconvénients ?
  - o *Oui, téléassistance classique. Le déclencheur est toujours à la chambre et, par conséquent, si' ils ont une chute dans une autre pièce de la maison, il sert à rien.*
- d'un système d'alarme de sécurité ?
  - o *Non*
- d'un système de détection de gaz ou fumé ?
  - o *Non*

## PARTIE B. DEGRÉ DE FRAGILITÉ

Pour chaque tâche ci-dessus, indiquez le degré de difficulté A, B, C :

- A. Fait seul : totalement, habituellement et correctement
- B. Fait partiellement, non habituellement, non correctement
- C. Ne fait pas

Vous pouvez ajouter des commentaires si nécessaire.

ACTIVITÉ	TÂCHE	DIFFICULTÉ	
		MN	AB
1. Maintien de l'équilibre et la posture	Transférer le corps assis	A	B
	Se lever: changer d'étendu à assis	B	C
	Se lever: changer d'assis à debout	A	A
2. Hygiène de l'élimination urinaire et fécale	Manipuler les vêtements	A	B
	S'asseoir/se lever	A	A
	Maintenir la posture	B	B
	S'essuyer	A	A
	Éviter les fuites involontaires	A	B
3. Hygiène générale	Ouvrir et fermer le robinet	A	A
	Entrer/Sortir/Maintenir l'équilibre	B	C
	Se savonner	A	B
4. Soins esthétiques	Se raser		C
	Se coiffeur	A	
	Prendre soin des ongles	A	B
	Prendre soin des dents	A	A
5. Habillage et déshabillage	Reconnaître et attraper les vêtements	A	A
	Se chausser	A	B
	S'habiller la partie supérieure du corps	B	B
	S'habiller la partie inférieure du corps	B	B
	Boutonner	B	B
6. Ménage	Balayer et nettoyer les sols	C	C
	Laver le linge et faire le repassage	C	C
	Faire les courses	C	C
	Réceptionner et ranger les courses	B	C
	Fermer et ouvrir les volets	A	B
7. Repas	Préparer le repas	A	B
	Prendre le repas et boire	A	A
8. Déplacement dans la maison	Se déplacer généralement	A	B
	Monter et descendre les escaliers	B	B
9. Déplacement en dehors de la maison	Ouvrir et fermer les portes	A	B
	Marcher	B	B
10. Gestion des problèmes de santé et soins sanitaires	Prendre la médication	A	B
	Utiliser des matériels médicaux (oxygène, prothèse...)	A	B
	Acheter la médication	A	A
	Gérer les soins médicaux	A	B
11. Gestion des affaires de la	Gérer le budget	A	A

maison	S'occuper des papiers et des factures	A	A
	Envoyer et réceptionner les courriers et les colis	A	A
	Soin des animaux domestiques	A	A
12. Loisir intérieur	Écouter de la musique	A	A
	Lire	A	A
	Regarder la TV	A	A
	Se communiquer avec l'extérieur	A	A
13. Loisir extérieur	Partir en voyage/prendre l'autobus	C	C
	Faire de la jardinerie	A	B
	Faire de l'exercice	B	B
14. Relations personnelles	Accueillir des visites	A	A
	Décrocher le téléphone	A	A
	Maintenir des relations	A	A

**Commentaires :**

10.1. Prendre la médication : AB a une alarme dans son téléphone portable pour lui rappeler.

10.3. Acheter la médication : ils réalisent la commande par téléphone

**PARTIE C. RISQUES ET BESOINS. TECHNOLOGIES ET AMÉNAGEMENT DE LA MAISON**

1. Avez-vous eu un accident domestique (chute, intoxication) pendant la dernière année ? En cas affirmatif indiquez le type d'accident, la pièce de la maison où a eut lieu et les motifs.

- MN a eu deux chutes récemment
  - dans la salle en raison d'un mauvais état du sol. Ils ont aménagé le sol après la chute
  - dans la baignoire : elle utilise maintenant la douche
- AB a eu une chute
  - dans sa chambre, en se levant du lit : ils ont des barres d'appui à côté du lit.

2. Pour vous, mais aussi en pensant aux personnes que vous rendent visite ou éventuellement vous aident, quelles sont les caractéristiques du logement qui sont les plus importantes pour vivre tous les jours dans de bonnes conditions ?  
*Connaître à la perfection la maison et la situation de tout ; n'avoir pas des obstacles.*

3. De tous ces besoins ci-dessus, aimerez-vous avoir des technologies ou des services pour les répondre ?

- Santé
- Mobilité
- Confort et logement
- Sécurité
- Lien social et communication
- Stimulation
- Prévention
- Hygiène et soins personnels





*Les besoins en bleu sont des besoins que MN et AB ne considèrent pas nécessaires mais leur entourage considère très importants.*






## **Annexe H**

# **Catalogue des technologies pour le cas de co-adaptation**


### Support ou bras à côté de la porte

Type	Iso	Description	Photo	Prix TTC approximé	Entreprises
Barre d'appui coude fixe	18.18.06	BARRES ET POIGNÉES D'APPUI FIXES (*) Dispositifs, généralement sous forme de barres horizontales ou en angle, fixés de manière permanente à un mur, à un mur et au sol, ou à un mur, au plafond et au sol, fournissant un soutien à une personne en station debout ou lors d'un changement de position		15-387	Godonnier Pba Srl Presto AKW international Dupont Médical Pellet ASC Hewi HMS - Vilgo Franz Schneider Brakel GmbH Pressalit SARL
Barre d'appui droite fixe	18.18.06	(*)		10-240	Alter echo santé Idhra Vichy Heurtevent
Barre d'appui sur pied	18.18.06	(*)		82-525	Linido Invacaro Normbau
Main courante	18.18.03	MAINS COURANTES ET GARDE-CORPS Barres, généralement cylindriques, fixées à un mur, au sol ou sur toute autre structure stable, fournissant à une personne un moyen pour s'appuyer ou se stabiliser à l'aide des mains ou des bras pendant qu'elle marche, par exemple, en montant et en descendant des escaliers ou une rampe, ou en se déplaçant le long d'un couloir		40-322	









### Sol antidérapant

Type	Iso	Description	Photo	Prix TTC approximé	Entreprises
Sol antidérapant	18.24.15	Matériels antidérapants pour les sols et escaliers. Matériaux tactiles pour les sols et escaliers. Revêtements de sol résistants au feu		27 €/m2	Slipstop
Tapis antidérapant	18.33.03	Matériels de surface réduisant le risque de glissement. Les tapis et les carrelages antidérapants, par exemple, en font partie (*)		20-270	Dalsouple Watco Chaco Sarl
Peinture antidérapant	18.33.03	(*)		9 - 52 €/m2	Watco

### Automatisation de portes

Type	Iso	Description	Photo	Prix TTC approximé	Entreprises
Automatisation de porte	18.21.03	Anti pince-doigt Baie coulissante motorisée Capteurs d'ouverture de porte		37-200	TMV International Afen confort Lifemax SkyLink Canada PMR conformité

## Déambulateur

Type	Iso	Description	Photo	Prix TTC approximé	Entreprises
Cadre de marche	12.06.03	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.		24-723	HMS-Vilgo Herdegen Invacare Dupont Médical LCD Concept Thuasne Van Os Medical BV Bischoff & Bischoff Vermeiren Schuchmann GmbH & Co
Déambulateur avec assise	18.09.39	Systèmes d'assise reposant sur un châssis capable de recevoir un choix de modules d'assise dont la position peut ensuite être réglée afin d'obtenir une posture particulière. Les sièges assemblés avec des éléments séparés, par exemple, en font partie		280	Revel Technologie
	12.06.06	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 (*)		61-765	ETAC AB Volaris Bischoff & Bischoff Thuasne Invacare Dupont Médical Forta S.L. Vermeiren HMS-Vilgo
	12.06.09	CHAISES DE MARCHÉ Dispositifs sur roues avec un siège ou des sangles soutenant le corps lors de la marche, avec ou sans support d'avant-bras		330-2250	R82 A/S Rugiani SA Revel Technologie RCN Médical EURL Vigamant Technology DCS Joncare Ltd
	12.06.12	TABLES DE MARCHÉ 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		1090-1690	Ormesa SRL
Déambulateur à deux roues	12.06.06	(*)		60-490	Vermeiren Forta S.L. Invacare LCD Concept R82 A/S Aices Med Thuasne
Déambulateur à trois roues	12.06.06	(*)		50-150	Emie Neotec TrustCare AB Dupont Médical Otto Bock France Bischoff & Bischoff
Déambulateur à quatre roues	12.06.06	(*)		60-3123	Rollz International BV Volaris HMS-Vilgo Topro Tronic Sverige Van Os Medical BV

## Résumé

Développer des produits mieux acceptés en intégrant les préférences des parties prenantes constitue un principal défi pour les concepteurs et les chefs de projet. Comment évaluer et améliorer l'acceptabilité des utilisateurs est devenue une importante question de recherche. Les approches actuelles laissent cette question pour les dernières étapes du processus de développement de nouveaux produits (NPD), quand un prototype est presque fini et quand c'est trop tard pour apporter des modifications. Pour cela nos travaux se déclinent dans les contributions suivantes :

- Principes et démarches de co-conception testés au travers deux études de cas.
- Démarche de co-adaptation de l'habitat pour le maintien à domicile.
- Démarche d'évaluation du niveau d'acceptabilité d'une solution basée sur les réseaux bayésiens.
- Démarche d'amélioration du niveau d'acceptabilité évalué, permettant la recherche et simulation de scénarios d'amélioration, combinant les réseaux bayésiens et un algorithme de recuit simulé.

Les modèles et démarches proposés ont été appliqués à des projets de conception dans le domaine de la santé pour lequel nous avons pu identifier des spécificités.

**Mots-clés:** Acceptabilité, Innovation, Aide à la décision, Système de santé.

## Abstract

Developing products that are better accepted by integrating users' and stakeholders' preferences is a major challenge for designers and project managers. How to evaluate and improve users' acceptability has become an important research question. Current approaches leave the acceptability evaluation question for the last stages of New Product Development process (NPD), when a prototype is almost finished and when it is too late to make changes. For this our work is divided in the following contributions :

- The test of the co-design approaches through two case studies.
- A co-adaptation approach of the habitat for home-healthcare.
- An assessment approach of the acceptability level of a solution based on Bayesian networks.
- An improvement approach of the assessed acceptability level, enabling the research and simulation of improvement scenarios, combining Bayesian networks and a simulated annealing algorithm.

**Keywords:** Acceptability, Innovation, Decision Making, Healthcare system.