



HAL
open science

Méthode d'évaluation de la soutenabilité en conception de Systèmes Produits-Services (PSS)

Benjamin Doualle

► **To cite this version:**

Benjamin Doualle. Méthode d'évaluation de la soutenabilité en conception de Systèmes Produits-Services (PSS). Autre. Université de Lyon, 2018. Français. NNT : 2018LYSEM002 . tel-01844263

HAL Id: tel-01844263

<https://theses.hal.science/tel-01844263>

Submitted on 19 Jul 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.



N° d'ordre NNT : 2018LYSEM002

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de
l'Ecole des Mines de Saint-Etienne

Ecole Doctorale N° 488
Sciences, Ingénierie, Santé

Spécialité de doctorat : Science et Génie de l'Environnement

Soutenue publiquement le 31/01/2018, par :
Benjamin DOUALLE

**Méthode d'évaluation de la
soutenabilité en conception de
Systèmes Produits-Services (PSS)**

Devant le jury composé de :

YANNOU, Bernard	Professeur	Ecole Centrale Paris	Président du jury
EYNARD, Benoît	Professeur	UT Compiègne	Rapporteur
TROUSSIER, Nadège	Professeure	UT Troyes	Rapporteuse
VALLET, Flore	Enseignante Chercheuse	IRT SystemX	Examinatrice
BOUCHER, Xavier	Professeur	Ecole Centrale Paris	Directeur de thèse
BRISAUD, Daniel	Professeur	ENSM-SE	Co-directeur de thèse
LAFORREST, Valérie	Directrice de Recherche	INP Grenoble	Co-Directrice de thèse
MEDINI, Khaled	Maitre de Conférence	ENSM-SE	Co-encadrant de thèse

Spécialités doctorales
 SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX
 MECANIQUE ET INGENIERIE
 GENIE DES PROCEDES
 SCIENCES DE LA TERRE
 SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

Responsables :
 K. Wolski Directeur de recherche
 S. Drapier, professeur
 F. Gruy, Maître de recherche
 B. Guy, Directeur de recherche
 D. Grailllot, Directeur de recherche

Spécialités doctorales
 MATHEMATIQUES APPLIQUEES
 INFORMATIQUE
 SCIENCES DES IMAGES ET DES FORMES
 GENIE INDUSTRIEL
 MICROELECTRONIQUE

Responsables
 O. Roustant, Maître-assistant
 O. Boissier, Professeur
 JC. Pinoli, Professeur
 X. Delorme, Maître assistant
 Ph. Lalevée, Professeur

EMSE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'Etat ou d'une HDR)

ABSI	Nabil	CR	Génie industriel	CMP
AUGUSTO	Vincent	CR	Image, Vision, Signal	CIS
AVRIL	Stéphane	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
BADEL	Pierre	MA(MDC)	Mécanique et ingénierie	CIS
BALBO	Flavien	PR2	Informatique	FAYOL
BASSEREAU	Jean-François	PR	Sciences et génie des matériaux	SMS
BATTON-HUBERT	Mireille	PR2	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BEIGBEDER	Michel	MA(MDC)	Informatique	FAYOL
BLAYAC	Sylvain	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
BOISSIER	Olivier	PR1	Informatique	FAYOL
BONNEFOY	Olivier	MA(MDC)	Génie des Procédés	SPIN
BORBELY	Andras	MR(DR2)	Sciences et génie des matériaux	SMS
BOUCHER	Xavier	PR2	Génie Industriel	FAYOL
BRODHAG	Christian	DR	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BRUCHON	Julien	MA(MDC)	Mécanique et ingénierie	SMS
CAMEIRAO	Ana	MA(MDC)	Génie des Procédés	SPIN
CHRISTIEN	Frédéric	PR	Science et génie des matériaux	SMS
DAUZERE-PERES	Stéphane	PR1	Génie Industriel	CMP
DEBAYLE	Johan	MR	Sciences des Images et des Formes	SPIN
DEGEORGE	Jean-Michel	MA(MDC)	Génie industriel	Fayol
DELAFOSSÉ	David	PR0	Sciences et génie des matériaux	SMS
DELORME	Xavier	MA(MDC)	Génie industriel	FAYOL
DESRAYAUD	Christophe	PR1	Mécanique et ingénierie	SMS
DJENIZIAN	Thierry	PR	Science et génie des matériaux	CMP
DOUCE	Sandrine	PR2	Sciences de gestion	FAYOL
DRAPIER	Sylvain	PR1	Mécanique et ingénierie	SMS
FAUCHEU	Jenny	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	SMS
FAVERGEON	Loïc	CR	Génie des Procédés	SPIN
FEILLET	Dominique	PR1	Génie Industriel	CMP
FOREST	Valérie	MA(MDC)	Génie des Procédés	CIS
FRACZKIEWICZ	Anna	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GARCIA	Daniel	MR(DR2)	Sciences de la Terre	SPIN
GAVET	Yann	MA(MDC)	Sciences des Images et des Formes	SPIN
GERINGER	Jean	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	CIS
GOEURLOT	Dominique	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GONDRAN	Natacha	MA(MDC)	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
GONZALEZ FELIU	Jesus	MA(MDC)	Sciences économiques	FAYOL
GRAILLOT	Didier	DR	Sciences et génie de l'environnement	SPIN
GROSSEAU	Philippe	DR	Génie des Procédés	SPIN
GRUY	Frédéric	PR1	Génie des Procédés	SPIN
GUY	Bernard	DR	Sciences de la Terre	SPIN
HAN	Woo-Suck	MR	Mécanique et ingénierie	SMS
HERRI	Jean Michel	PR1	Génie des Procédés	SPIN
KERMOUCHE	Guillaume	PR2	Mécanique et Ingénierie	SMS
KLOCKER	Helmut	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
LAFOREST	Valérie	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
LERICHE	Rodolphe	CR	Mécanique et ingénierie	FAYOL
MALLIARAS	Georges	PR1	Microélectronique	CMP
MOLIMARD	Jérôme	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
MOUTTE	Jacques	CR	Génie des Procédés	SPIN
NEUBERT	Gilles			FAYOL
NIKOLOVSKI	Jean-Pierre	Ingénieur de recherche	Mécanique et ingénierie	CMP
NORTIER	Patrice	PR1	Génie des Procédés	SPIN
O CONNOR	Rodney Philip	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
OWENS	Rosin	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
PERES	Véronique	MR	Génie des Procédés	SPIN
PICARD	Gauthier	MA(MDC)	Informatique	FAYOL
PIJOLAT	Christophe	PR0	Génie des Procédés	SPIN
PINOLI	Jean Charles	PR0	Sciences des Images et des Formes	SPIN
POURCHEZ	Jérémy	MR	Génie des Procédés	CIS
ROUSSY	Agnès	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
ROUSTANT	Olivier	MA(MDC)	Mathématiques appliquées	FAYOL
SANAUR	Sébastien	MA(MDC)	Microélectronique	CMP
STOLARZ	Jacques	CR	Sciences et génie des matériaux	SMS
TRIA	Assia	Ingénieur de recherche	Microélectronique	CMP
VALDIVIESO	François	PR2	Sciences et génie des matériaux	SMS
VIRICELLE	Jean Paul	DR	Génie des Procédés	SPIN
WOLSKI	Krzysztof	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
XIE	Xiaolan	PR0	Génie industriel	CIS
YUGMA	Gallian	CR	Génie industriel	CMP

Remerciement

La thèse est un brouillard dans lequel le doctorant avance, guidé par les lumières des rencontres, des lectures et des discussions. De cette avancée à l'aveugle, ce manuscrit est le résultat du chemin parcouru pendant ces trois dernières années.

Tout d'abord, j'aimerais remercier les rapporteurs de mon manuscrit, Benoît Eynard et Nadège Troussier, d'avoir accepté de prendre part à la lecture et à l'évaluation de mon manuscrit. Je remercie également, Flore Vallet et Bernard Yannou de leur présence dans mon jury de soutenance.

En tant que directeurs et encadrant de thèse, Xavier Boucher, Daniel Brissaud, Valérie Laforest et Khaled Medini ont évidemment une place particulière pour moi. Merci à Xavier, Valérie, Daniel et Khaled pour cet encadrement particulier qu'ils ont du mettre en place pour m'accompagner au mieux. Merci Xavier pour ta rigueur scientifique qui a été énormément formatrice pour moi et qui m'a permis d'atteindre un nouveau palier intellectuel. Merci à toi, Valérie, d'avoir su m'accorder du temps et de m'avoir poussé à faire évoluer mon discours pour gagner en clarté et en compréhension. Merci Daniel pour les interactions denses que nous avons pu avoir et pour ton apport ô combien précieux. Enfin, Khaled, merci pour ta disponibilité et ta réactivité, le travail de recherche que j'ai pu mener avec toi, par cette thèse et ses valorisations, serait d'une qualité moindre sans toi.

Ces trois années au sein du 3^{ème} étage de l'Institut Fayol ont également été le lieu de rencontres très riches d'un point de vue intellectuel. En ce sens, je remercie les équipes GEO et MRI, pour la bonne ambiance et les nombreux moments (formels et informels) à échanger sur des sujets divers et variés. Un merci tout particulier à Hervé pour m'avoir accompagné au mieux dans mes réflexions et mes doutes. Merci également à Bernadette et Zahia qui ont su me rassurer et me guider dans les méandres de l'administration.

J'aimerais également remercier celle qui a pu (ou dû) supporter ma présence dans le bureau, Michèle, qui m'a bien souvent vu, casque vissé sur le crâne, mais qui a pu me rassurer au quotidien lors de mes « coups de mou ».

Enfin, je ne saurai clôturer mes remerciements laborantins sans chaleureusement remercier l'équipe « Sushicha ». Merci à Ana, Jalilou, Nahlita, Lyes, Arnaud, Abdoul, Martha, Andrés, P-C et Marleine pour tous ces moments au labo mais surtout en dehors. Les hummus, tajines, baklava et autres délices orientaux ainsi que les soirées que nous avons pu partager au BXL ou à danser la salsa ont permis de remplir mon cœur (et mon ventre) d'amitiés qui resteront gravés en moi.

Cette thèse s'inscrit dans une aventure stéphanoise dans laquelle j'ai trouvé un équilibre entre la sollicitation intellectuelle de la thèse et la sollicitation physique de la course à

ped et de la randonnée dans le Pilat ou dans des challenges toujours plus fous non sans conséquences (parfois). En cela, merci à Fanette, Klervi, Sylvain, Mathilde et les autres du 158 de m'avoir permis de me surpasser.

Merci à la FI Marengo pour m'avoir accueilli parmi les vôtres et de m'avoir fait confiance, merci de m'avoir permis de traduire mes convictions sur le terrain. J'ai également une pensée particulière pour Sébastien et Sofiane pour ces moments courts mais intenses qui m'en ont appris énormément sur notre monde actuel.

Une thèse constitue un travail unique qui va au-delà des limites physiques et temporelles du laboratoire. Il est donc pour moi naturel de remercier celles qui ont partagé mon quotidien et à ceux qui sont présents à mes côtés depuis de longues années. Merci à Fanny et Mélanie pour leur patience, leur indulgence et toute l'attention qu'elles ont pu me donner.

Merci à la TSI pour ses nombreux mariages (et encore félicitation à Marie et Quentin, Audrey et Vincent, Thi-Lan et Anthony, Mathilde et Paul, et tout particulièrement Aïcha et Grégoire) et naissances (Awena, Maëlys, Liam, Thais et Margot) qui ont été pour moi de vrais retours aux racines et des parenthèses superbes. Merci également à Yunie et aux autres amis du Nord qui ont toujours été partant pour partager une bonne frite avec moi lors de mes remontées en terres nordistes. Merci aussi à Jeanne et Pauline qui, bien que loin, m'ont permis de garder le cap.

Je remercie aussi tout naturellement mes parents et mon frère pour leur soutien indéfectible. Ce travail de thèse est aussi l'aboutissement de votre éducation et des valeurs que vous m'avez inculqué.

Enfin, j'aimerais me tourner vers l'avenir et Toulouse qui m'accueille aujourd'hui et qui, comme un clin d'œil, réuni un peu de mon passé et m'a aidé à parfois lever le brouillard. Merci à ma deuxième famille qui me considère comme l'un des leurs aujourd'hui et qui m'ont permis de me ressourcer lorsque j'en avais besoin. Merci à Malik Chalal pour les innombrables discussions que nous avons pu avoir au sujet de ce travail de thèse, pour les soirées à travailler sur des points précis afin d'en renforcer la pertinence et ce, jusqu'au dernier moment. Merci à Benou, Noémie et Sinead pour me permettre de donner du sens à mon travail et à cultiver notre jardin. Enfin, merci à toi, Florine, pour avoir répondu présente dès que j'en ai eu besoin et pour être à mes côtés aujourd'hui plus que jamais.

Il a tant d'autres personnes que j'aimerais remercier et que j'ai eu le malheur d'oublier lors de ces quelques lignes. J'espère que vous ne m'en tiendrez pas rigueur.

SOMMAIRE

Remerciement	iii
Liste des figures .....	.xi
Liste des tableaux .....	.xiii
Liste des acronymes .....	.xv
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Contexte Global.....	1
2. Verrous scientifiques et problématique de recherche	2
3. Organisation du manuscrit.....	4
PARTIE I : ETAT DE L'ART	5
Introduction.....	7
Chapitre 1 : De l'économie de fonctionnalité au Système Produits-Services	9
1. Notions essentielles	9
1.1. Cycle de vie	9
1.2. Acteurs et réseau d'acteurs	10
2. Modèles économiques.....	11
2.1. Modèle de l'écologie industrielle.....	12
2.2. Modèle de l'économie de fonctionnalité.....	13
3. Système Produits-Services (PSS)	14
3.1. Qu'est-ce qu'un système ?.....	14
3.1.1. Le service dans les Systèmes Produits-Service.....	15
3.1.2. Le produit dans les Systèmes Produits-Services.....	16
3.1.3. Les cycles de vie des systèmes Produits-Services.....	17
3.2. Intérêt économique des systèmes Produits-Services	17
3.3. Intérêt écologique des systèmes Produits-Services.....	18
3.4. Intérêt sociétal des systèmes Produits-Services.....	19
3.5. Soutenabilité des systèmes Produits-Services.....	19
4. Conclusion du chapitre I.....	20
Chapitre 2 : L'écoconception : intégration de la soutenabilité en conception de PSS.....	21
1. Méthodologies de conception	21
1.1. Modèles du processus de conception.....	21
2. Eco-conception.....	22
2.1. Outils d'écoconception	24

2.2.	Outils et méthodes existantes pour la conception de PSS soutenable	25
2.2.1.	Conception de PSS.....	25
2.2.2.	Modèles de conception.....	26
2.3.	Soutenabilité des PSS.....	27
2.3.1.	Evaluation environnementale des PSS.....	28
2.3.2.	Evaluation économique des PSS	31
2.3.3.	Evaluation sociale des PSS.....	32
2.3.4.	Evaluation de la soutenabilité des PSS.....	33
3.	La problématique de la prise de décision en conception	35
4.	Conclusion du chapitre 2	38
Chapitre 3 : Développement Durable et évaluation de la soutenabilité		41
1.	Histoire du développement durable.....	41
2.	Enjeux actuel et défis de la soutenabilité et de son évaluation	43
2.1.	Enjeux actuels et défis	43
2.2.	Leviers d’appropriation de la soutenabilité.....	44
2.3.	Les différents niveaux de gouvernance	45
2.4.	Evaluation de la soutenabilité	46
3.	Conclusion du chapitre 3	48
Chapitre 4 : Bases conceptuelles et éléments de solution retenus		51
1.	Phases de conception de PSS.....	51
2.	Système de support pour la génération d’idées.....	55
2.1.	Développement du système de support pour la génération d’idées.....	55
	Identification des besoins génériques	55
	Consultation de la base de connaissance des PSS existants	56
3.	Modèle de hiérarchie fonctionnelle	58
4.	Cadre de soutenabilité.....	60
4.1.	Pilier Social.....	62
4.2.	Pilier économique	63
4.3.	Pilier environnement	64
5.	Analyse multicritère.....	65
5.1.	La méthode ELECTRE I	66
5.2.	Développement de la méthode ELECTRE I	66
6.	Conclusion du Chapitre 4.....	68
Conclusion de la partie I.....		69

PARTIE II : CONCEPTION D'UNE METHODE D'EVALUATION DE LA SOUTENABILITE	73
Introduction.....	75
Chapitre 5 : Cadre méthodologique	77
1. Prérequis de la méthode.....	77
2. Description du cadre méthodologique	78
2.1. Articulation de la méthode	79
2.2. Modèle de représentation des scenarios	81
2.3. Indicateurs de la soutenabilité.....	82
3. Apport de la méthode.....	85
4. Conclusion du chapitre 5.....	86
Chapitre 6 : Proposition méthodologique.....	87
1. Phase 1 : Identification des enjeux de soutenabilité	88
1.1. Etape 1 : Identifier les besoins génériques	89
1.1.1. Expression des besoins du client	89
1.1.2. Besoins génériques.....	90
1.1.3. Expression de la Matrice de généricisation des besoins du client	91
1.2. Etape 2 : Lier les besoins du client aux catégories génériques de services	91
1.2.1. Les catégories génériques de services ou « PSS model ».....	92
1.2.2. Expression de la matrice support pour la génération d'idée	92
1.2.3. Calcul des liens entre les besoins du client et les catégories génériques de services	93
1.3. Etape 3 : lier les enjeux de soutenabilité aux besoins du client	94
1.3.1. Cadre de soutenabilité des Systèmes Produits-Services.....	94
1.3.2. Lien entre les enjeux de soutenabilité et les catégories génériques de services.....	95
1.4. Livrable de la phase 1.....	96
2. Phase 2 : Sélection des scénarios satisfaisants	97
2.1. Etape 4 : Définir les scénarios PSS	98
2.1.1. Définitions des fonctions.....	99
2.1.2. Calcul du potentiel d'impact des fonctions	100
2.1.3. Identification des acteurs impliqués dans le réseau de conception	101
2.1.4. Calcul de l'impact potentiel des acteurs	102
2.1.5. Définition des scénarios	102
2.2. Etape 5 : Evaluer les scénarios	103
2.2.1. Construction du sous-ensemble des indicateurs de soutenabilité	104
2.2.2. Evaluation des indicateurs par les acteurs	105

2.3.	Etape 6 : Appliquer la méthode d'analyse multicritère	106
2.3.1.	Application de la méthode d'analyse multicritère	107
2.4.	Etape 7 : Recherche de compromis et négociation multi-acteurs	110
2.4.1.	Choix d'une méthode de construction de compromis.....	110
2.4.2.	Application et adaptation de TEAM pour la soutenabilité de scénarios de conception 112	
3.	Conclusion du chapitre 2	116
	Conclusion de la partie II.....	117
PARTIE III : APPLICATION AUX CAS D'ETUDE.....		119
	Introduction	121
	Chapitre 7 : Projet Ecobel.....	123
1.	Objectifs.....	123
2.	Méthode	124
3.	Application de la méthode.....	125
3.1.	Phase 1 : identifications des enjeux de soutenabilité	125
3.1.1.	Etape 1 : Identifier les besoins génériques	125
3.1.2.	Etape 2 : Lier les besoins du client aux catégories génériques de services	126
3.1.3.	Etape 3 : lier les enjeux de soutenabilité aux besoins du client.....	127
3.2.	Phase 2 : Sélection des scénarios satisfaisants.....	130
3.2.1.	Etape 4 : Définir les scénarios PSS.....	130
3.2.2.	Etape 5 : Evaluer les scénarios	133
3.2.3.	Etape 6 : Appliquer la méthode d'analyse multicritère	135
3.2.4.	Etape 7 : Négociation multi-acteurs.....	137
4.	Conclusions	139
4.1.	Identification des enjeux de soutenabilité	140
4.2.	Détermination des seuils de concordance et discordance	140
4.3.	Conclusion.....	141
	Chapitre 8 : Projet CleanRobot	143
1.	Objectifs de l'étude de cas.....	143
2.	Démarche générale adoptée	143
3.	Application de la méthode.....	144
3.1.	Phase 1 : identification des enjeux de soutenabilité	144
3.1.1.	Etape 1 : Identifier les besoins génériques	144
3.1.2.	Etape 2 : Lier les besoins du client aux catégories génériques de services	146

3.1.3.	Etape 3 : Lier les enjeux de soutenabilité aux besoins du client.....	147
3.2.	Phase 2 : Sélection des scénarios satisfaisants.....	148
3.2.1.	Etape 4 : Définir les scénarios PSS.....	148
3.2.2.	Etape 5 : Evaluer les scénarios.....	153
3.2.3.	Etape 6 : Appliquer la méthode d'analyse multicritère.....	155
4.	Interprétations et conclusions.....	156
	Conclusion de la partie III.....	159
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	161
1.	Apport de la méthode.....	161
1.1.	L'évaluation par et pour les acteurs.....	161
1.2.	Pour un développement durable pragmatique et systémique.....	161
1.3.	Une itérativité pour une intégration facilitée.....	161
2.	Perspectives.....	162
2.1.	La subjectivité comme source d'incertitude.....	162
2.2.	Intégrer le cycle de vie comme caractéristique du PSS.....	163
2.3.	Du niveau des besoins à celui des solutions.....	163
2.4.	Une opérationnalisation pour faciliter sa diffusion.....	164
3.	Conclusion générale.....	165
	BIBLIOGRAPHIE.....	166
	ANNEXES.....	173
	ANNEXE A : Matrice de Support pour la génération de concept (CGSM) (traduit de Kim et al., 2012).....	174
	ANNEXE B : liste des indicateurs.....	175
	ANNEXE C : Représentation de la soutenabilité des catégories génériques de services (matrice I).....	177
	ANNEXE D : Evaluation des scénarios Ecobel pour chaque acteur.....	178
	ANNEXE E : Scenarios considérés pour l'étude de cas CleanRobot.....	186
	ANNEXE F : liste des fonctions et implication des acteurs selon le scenario.....	191
	ANNEXE G : Evaluation des scénarios CleanRobot pour chaque acteur.....	193

Liste des figures

FIGURE 1 : ARTICULATION DES ACTEURS IMPLIQUES DANS LES DIFFERENTS CYCLES DE VIE DES PRODUITS ET DES SERVICES (SYSTEME DISCRET ET SYSTEME D'ENSEMBLE) (MANZINI AND VEZZOLI, 2002).....	11
FIGURE 2 : DOMAINES D' ACTIONS DE L' ECONOMIE CIRCULAIRE ET DES PILIERS ASSOCIES (ADEME, 2017)	12
FIGURE 3 : LES DEUX CYCLES DE VIE (CELUI DU PRODUIT ET CELUI DU SERVICE) DOIVENT ETRE CONSIDERER. (TAN ET AL., 2006).....	17
FIGURE 4 : EVOLUTION TEMPORELLE DU NIVEAU D'INTEGRATION DE L'ECOCONCEPTION, ET DES DIFFERENTES DEMARCHES ASSOCIEES (MILLET ET AL., 2003)	24
FIGURE 5 : IMPACT ENVIRONNEMENTALE DES PHASES DU CYCLE DE VIE DU VELO'V AVEC LA METHODE ECO-INDICATOR 99 (AMAYA ET AL., 2014).....	30
FIGURE 6 : POURCENTAGE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L' ECONOMIE DE CARBURANT ET DU PSS (LELAH ET AL., 2011).....	31
FIGURE 7 : EVOLUTION DU CONCEPT DE DEVELOPPEMENT DURABLE (SEBASTIEN AND BRODHAG, 2004).....	41
FIGURE 8 : ELEMENTS CLES DE L'HISTOIRE DU DEVELOPPEMENT DURABLE (BRODHAG).....	42
FIGURE 9 : REPRESENTATION PARTIEL DU MODELE DE HIERARCHIE FONCTIONNEL (INSPIRE DE VAN OSTAEYEN ET AL., 2013).....	58
FIGURE 10 : SCHEMA GLOBAL DE LA METHODE	80
FIGURE 11 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA METHODE PROPOSEE	88
FIGURE 12 : SCHEMA DE LA PHASE 1 : IDENTIFICATIONS DES ENJEUX DE SOUTENABILITE	89
FIGURE 13 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DE L'ETAPE 1.....	89
FIGURE 14 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DE L'ETAPE 2.....	92
FIGURE 15 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DE L'ETAPE 3.....	94
FIGURE 16 : SCHEMA DE LA PHASE 2 : SELECTION DES SCENARIOS SATISFAISANTS	98
FIGURE 17 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DE L'ETAPE 4	99
FIGURE 18 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DE L'ETAPE 5.....	104
FIGURE 19 : SCHEMA METHODOLOGIQUE DE L'ETAPE 6.....	107
FIGURE 20 : EXEMPLES DE GRAPHE DE SURCLASSEMENT RESULTANT DE L'APPLICATION DE LA METHODE ELECTRE I	109
FIGURE 21 : SCHEMA DE LA RECHERCHE DE COMPROMIS	114
FIGURE 22 : GRAPHE DE SURCLASSEMENT DES SCENARIOS DE CONCEPTION PSS POUR CHAQUE ACTEUR	136
FIGURE 23 : GRAPHE DE SURCLASSEMENT DES SCENARIOS DE CONCEPTION PSS POUR CHAQUE ACTEUR	156

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : LES 4 NOUVEAUX MODELES ECONOMIQUES D'ENTREPRISES (DU TERTRE, 2007).....	12
TABLEAU 2: DESCRIPTION DES PHASES DU PROCESSUS DE CONCEPTION [TRADUIT DE CAVALIERI AND PEZZOTTA, (2012)]	27
TABLEAU 3 : INDICATEURS POUR LA SOUTENABILITE DES SERVICES DE MAISON (TRADUIT DE HALME ET AL., 2006)..	34
TABLEAU 4 : OBJECTIFS DU DEVELOPPEMENT DURABLE	47
TABLEAU 5 : PHASES DE LA CONCEPTION D'UN PSS (EXTRAIT DU TABLEAU 2).....	52
TABLEAU 6 : TABLE DES BESOINS GENERIQUES (A) (TRADUIT DE KIM ET AL., 2012).....	56
TABLEAU 7 : TABLE DES CATEGORIES DE SERVICE DE PSS (B) (TRADUIT DE KIM ET AL., 2012)	57
TABLEAU 8 : CROISEMENT ENTRE LE CADRE DE SOUTENABILITE ET L'ISO26000 (ISO, 2010; VEZZOLI ET AL., 2014)	61
TABLEAU 9 : GRILLE D'ÉVALUATION DES ENJEUX DE SOUTENABILITE	83
TABLEAU 10 : REPRESENTATION DE MA MATRICE R	91
TABLEAU 11 : REPRESENTATION DU LIEN ENTRE LES BESOINS DU CLIENT ET LES CATEGORIES GENERIQUES DE SERVICES	94
TABLEAU 12 : DOMAINES ET DISCIPLINES DES EXPERTS CONSULTES.....	96
TABLEAU 13 : REPRESENTATION DES IMPACTS POTENTIELS DES BESOINS DU CLIENT.....	97
TABLEAU 14 : BESOINS DU CLIENT DANS L'ÉTUDE DE CAS D'ÉCOBEL.....	125
TABLEAU 15 : LIVRABLE DE L'ÉTAPE 1 : REPRESENTATION DE LA MATRICE DE GENERICISATION DES BESOINS DU CLIENT (R). (PAR SOUCI DE CONFORT VISUEL ET DE FACILITE DE COMPREHENSION, LES CASES VIDES SONT EGALES A 0)	126
TABLEAU 16 : REPRESENTATION DE LA MATRICE Q LIANT LES BESOINS DU CLIENT AUX CATEGORIES GENERIQUES DE SERVICES. (PAR SOUCI DE CONFORT VISUEL ET DE FACILITE DE COMPREHENSION, LES CASES VIDES SONT EGALES A 0).....	127
TABLEAU 17 : REPRESENTATION DU POTENTIEL D'IMPACT SUR LA SOUTENABILITE DES BESOINS DU CLIENT (MATRICE U ¹).....	128
TABLEAU 18 : REPRESENTATION DES ENJEUX DE SOUTENABILITE IDENTIFIES ET DES POTENTIELS D'IMPACT ASSOCIES	129
TABLEAU 19 : MATRICE D RECENSANT LES LISTES DES FONCTIONS F CONÇUES POUR REpondre AUX SCENARIOS ET DE LEUR CONTRIBUTION AUX BESOINS DU CLIENT.	131
TABLEAU 20 : ACTEURS IMPLIQUES DANS LE RESEAU DE VALEURS DES SCENARIOS DE CONCEPTION DE PSS.	131
TABLEAU 21 : LIVRABLE DE L'ÉTAPE 4 - IMPACTS POTENTIELS DES ACTEURS (A) IMPLIQUES DANS LE RESEAU DE VALEUR DES SCENARIOS DE CONCEPTION DE PSS SUR LES ENJEUX DE SOUTENABILITE (E). (MATRICE H).....	132
TABLEAU 22 : GRILLE D'ÉVALUATION DE L'ACTEUR ÉCOBEL POUR LE SCENARIO 1	133
TABLEAU 23 : LIVRABLE DE L'ÉTAPE 5 - SCORES DE SOUTENABILITE DES ACTEURS IMPLIQUES CLASSES PAR SCENARIO	134
TABLEAU 24 : IMPACTS POTENTIELS D' « ÉCOBEL » SUR LES ENJEUX DE SOUTENABILITE DES DIFFERENTS SCENARIOS ET PONDERATIONS GLOBALES DE CES ENJEUX DE SOUTENABILITE.	135
TABLEAU 25 : INDICE DE CONCORDANCE (SEUIL A 0,8) ET DE DISCORDANCE (SEUIL A 0,3) DE L'ACTEUR « ÉCOBEL ». UNE CASE GRISE REPRESENTÉ UN RESULTAT POSITIF AU TEST DE CONCORDANCE (PARTIE GAUCHE) ET DE DISCORDANCE (PARTIE DROITE)	136
TABLEAU 26 : IMPLICATION DES ACTEURS AU SEIN DU NOUVEAU SCENARIO CONÇU.....	138
TABLEAU 27 : IMPACTS POTENTIELS ET SCORE DE SOUTENABILITE DES ACTEURS DU NOUVEAU SCENARIO	139

TABLEAU 28 : INDICES DE CONCORDANCES POUR L'ACTEUR « CLINIQUE ».....	140
TABLEAU 29 : BESOINS DU CLIENT DANS L'ETUDE DE CAS CLEANROBOT	145
TABLEAU 30 : REPRESENTATION DE LA MATRICE DE GENERICISATION DES BESOINS DU CLIENT (R). (PAR SOUCI DE CONFORT VISUEL ET DE FACILITE DE COMPREHENSION, LES CASES VIDES SONT EGALES A 0)	146
TABLEAU 31 : EXTRAIT DE LA MATRICE Q LIANT LES BESOINS DU CLIENT AUX CATEGORIES GENERIQUES DE SERVICES POUR LE CAS D'ETUDE CLEANROBOT. (PAR SOUCI DE CONFORT VISUEL ET DE FACILITE DE COMPREHENSION, LES CASES VIDES SONT EGALES A 0).....	147
TABLEAU 32 : LIVRABLE PHASE 1 - BESOINS DU CLIENT ET LEURS POTENTIELS D'IMPACT SUR LES ENJEUX DE SOUTENABILITE ASSOCIES (MATRICE U)	148
TABLEAU 33 : LISTES DES FONCTIONS DU SYSTEME (F) ET LIEN AVEC LES BESOINS DU CLIENT (MATRICE D)	149
TABLEAU 34 : LISTE DES ACTEURS IMPLIQUES DANS LES DIFFERENTS SCENARIOS	150
TABLEAU 35 : LISTES DES ACTEURS IMPLIQUES AU SEIN DES FONCTIONS SELON LE SCENARIO DE CONCEPTION DE PSS (LISTES COMPLETES EN ANNEXE F).....	151
TABLEAU 36 : LIVRABLE DE L'ETAPE 4 – POTENTIELS DE SOUTENABILITE DES ACTEURS SELON LES SCENARIOS.	152
TABLEAU 37 : GRILLE D'EVALUATION DE L'ACTEUR CLIENT POUR LE SCENARIO 5	153
TABLEAU 38 : LIVRABLE DE L'ETAPE 5 – SCORES DE SOUTENABILITE DES ACTEURS IMPLIQUES DANS CHAQUE SCENARIO.	154
TABLEAU 39 : IMPACTS POTENTIELS D' « CLIENT » SUR LES ENJEUX DE SOUTENABILITE DES DIFFERENTS SCENARIOS ET PONDERATIONS GLOBALES DE CES ENJEUX DE SOUTENABILITE.	155

Liste des acronymes

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADAPEI : Association départementale des amis et parents des personnes handicapées mentales (anciennement Association Départementale des Amis et Parents d'Enfants Inadaptés)

BRICS : Brésil, Russie, Inde, Chine, Afrique du Sud

CGSM : *Concept Generation Support Matrix*

CMED : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement

DD : Développement Durable

DRM : *Design Research Methodology*

EIME : Évaluation de l'IMPact sur l'Environnement

FHM : *Functional Hierarchy Modelling*

IDH : Indice de Développement Humain

ILCD : *International reference Life Cycle Data system*

LCC : *Life Cycle Costing*

MEPSS : MEthodology for Product-Service System development

ONU : Organisation des Nations-Unies

PNUE : Programme des Nations-Unies pour l'Environnement

PSS : Product-Service System

TPE : Toute Petite Entreprise

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte Global

Les modèles économiques et de production traditionnels, basés sur la fabrication et la vente de produits, sont aujourd'hui sur le point d'atteindre certaines limites. Cela risque d'engendrer des conséquences irréversibles liées à la raréfaction des ressources naturelles, la saturation du marché ou l'augmentation des coûts. Cela confronte les entreprises à une crise structurelle et à une perte de compétitivité.

De plus, la perception et le comportement des consommateurs ont changé. Ceux-ci sont aujourd'hui à la recherche de solutions soutenables pour répondre à leurs besoins car la satisfaction du client est l'élément central qui guide le développement de nouvelles offres commerciales. Cela se traduit par l'intégration de l'environnement et des considérations sociales dans leurs choix de consommation. L'hyperconsumérisme et l'obsolescence programmée sont maintenant considérés comme des problèmes et non plus comme des vecteurs de croissance et les entreprises sont donc poussées par les consommateurs à faire évoluer leurs offres commerciales.

Cette triple exigence (pérennité économique, équilibre environnemental et considération sociale) définit le terme de « soutenabilité » et la notion de développement durable. L'objectif de soutenabilité se repose notamment sur l'ingénierie qui permet, entre autres, d'optimiser les flux échangés (information, matière et énergie). De plus, la soutenabilité, par son caractère transversal, nécessite des solutions tant au niveau de la conception de nouveaux systèmes qu'au niveau de l'organisation.

De nouveaux modèles économiques innovants ont alors émergé afin de répondre à ces problématiques et de permettre aux industries de rester compétitives sur le marché tout en prenant en considérations les enjeux sociaux et environnementaux (Baines et al., 2009; Du Tertre, 2007; Mont, 2004). Les systèmes produits-services, que nous appellerons PSS dans cette thèse, proposent un changement de modèle économique qui se base sur la dématérialisation de l'économie, ce qui aurait pour conséquence de transformer la vente d'un produit matériel en la vente d'un service. Les industries ont vu dans l'offre de services un moyen de différenciation sur le marché qui se traduit notamment par la croissance du secteur serviciel plus importante que le secteur des biens matériels (Malleret, 2006).

Des études se sont développées afin de fournir une aide à la conception de ces systèmes innovants (Maussang, 2008; Meier et al., 2010; Müller and Stark, 2010; Shimomura and Arai, 2009; Trevisan, 2016). Les performances techniques et économiques de ces

systèmes ont pu être mis en évidence (Bernard and Chenouard, 2014; Johansson and Olhager, 2006; Jonkers and Iacob, 2009; Mourtzis et al., 2017). Mais alors que les PSS semblent répondre à un enjeu plus global qu'est la soutenabilité, les études sur les impacts des PSS sur les dimensions sociétales/sociales et environnementales sont encore sujettes à des débats (Agrawal et al., 2012; Goedkoop et al., 1999; Halme et al., 2006).

Pour cela les systèmes produits-services doivent s'appuyer, d'une part, sur des méthodes de conception et, d'autre part, sur des méthodes d'évaluation de la soutenabilité spécifiques aux PSS afin d'accompagner les décideurs dans leur processus de conception afin d'atteindre un optimum du potentiel de soutenabilité et de favoriser la mise en œuvre de tels systèmes. Le travail de thèse a donc l'ambition de proposer une méthode d'évaluation de la soutenabilité des PSS, méthode intégrée dans un processus de conception.

2. Verrous scientifiques et problématique de recherche

L'ambition de cette thèse est de contribuer au déploiement de modèles industriels de servicisation répondant clairement aux perspectives actuelles du développement durable. Ce travail de recherche vise ainsi à permettre une réelle convergence entre le développement industriel d'offres intégrées produits-services et les enjeux soulevés par le développement durable. Dans cette optique, des verrous scientifiques ont été identifiés sur la base de l'état de l'art effectué et développé dans la partie I :

- **VERROU 1 : Comment évaluer des PSS ayant des degrés de servicisation différents ?**

Les modalités et mécanismes d'évaluation en phase de conception dans une offre traditionnelle ne peuvent être transférés et appliqués directement aux offres PSS. En effet, dans une offre orientée produit (ou service), des méthodes et outils ont été proposés. Néanmoins, eu égard à la forte intégration du service dans l'offre produit (ou inversement), ces méthodes se trouvent alors inefficaces.

- **VERROU 2: Quelle aide à la décision pour la conception de PSS soutenable ?**

L'activité de conception est caractérisée par un accès restreint aux données et informations nécessaires à la prise de décision. Par ailleurs, les caractéristiques intrinsèques d'une offre PSS font intervenir une multitude d'acteurs dont les intérêts sont parfois hétérogènes et/ou antagonistes. De plus, la recherche de soutenabilité introduit inévitablement la prise en compte d'une multitude de paramètres

potentiellement contradictoires. Ce qui rend complexe et fastidieux la prise de décision dans ce contexte.

- **VERROU 3: Comment opérationnaliser le concept de Développement Durable en conception préliminaire de PSS ?**

Dans le processus de conception des PSS, les méthodes actuelles se focalisent sur l'évaluation de la soutenabilité lors de la phase de conception détaillée. Néanmoins, une évaluation en phase préliminaire peut s'avérer à la fois plus efficace et plus pertinente. Cela nécessite la traduction et l'opérationnalisation du concept de Développement Durable dans cette phase en considérant le peu d'informations et données disponible à ce stade. Cette opérationnalisation permet également une appropriation simple (mais pas simpliste) du Développement Durable.

Ces verrous scientifiques ont été articulés autour d'une question de recherche principale (QR0) qui peut être définie comme la suivante :

Dans une perspective d'économie de fonctionnalités, comment intégrer les enjeux de soutenabilité au sein du processus de conception d'une offre intégrée produits-services, en proposant de nouvelles méthodes et outils d'évaluation pour les concepteurs ?

Cette question de recherche peut être divisée en sous-questions, qui permettent une structuration des différents verrous scientifiques qu'il faudra lever afin de contribuer à répondre à la problématique globale de la thèse :

1. **Quels sont les enjeux de la soutenabilité auxquels les PSS sont susceptibles de répondre ? (QR1)**
2. **Comment prendre en compte et concilier les différents points de vue et critères de décision envers le Développement durable inhérents à la conception de PSS ? (QR2)**

3. Organisation du manuscrit

Afin de répondre à ces questions et de lever ces verrous scientifiques, le manuscrit sera construit selon un plan en 3 parties et 8 chapitres construit sur une méthodologie de recherche scientifique rigoureuse :

La Partie I a pour objectif de présenter l'état de l'art relatif aux PSS sur des aspects relevant tant de leur soutenabilité que de leur conception.

Le premier chapitre introduit le contexte industriel et les opportunités de soutenabilité. Ce qui fait émerger le concept de PSS et permet de discuter de leur potentiel pour la soutenabilité. (QR1)

Le deuxième chapitre est axé autour de la façon de mettre en œuvre les PSS soutenables. Ce qui introduit le domaine de l'écoconception, de sa définition globale aux méthodes existantes de conception et d'évaluation de la soutenabilité du PSS. (QR2)

Dans un troisième chapitre, le concept de développement durable et de son évaluation sont discutés. Ce qui permet de positionner le contexte de cette thèse dans ce vaste champ. (QR1, QR2)

Enfin le quatrième chapitre dresse les bases conceptuelles issues de la littérature sur lesquelles la proposition méthodologique doit s'appuyer. (QR1, QR2).

Le chapitre 5 propose le cadre méthodologique permettant de répondre aux questions de recherche en s'appuyant sur les bases conceptuelles identifiées. Le chapitre 6 expose de façon détaillée et formalisée la méthode développée dans ce travail de thèse.

La méthode est enfin appliquée, dans la Partie III, à deux études de cas. Ces études de cas, dénommées respectivement Ecobel et CleanRobot, seront introduites puis détaillées dans les chapitres 7 et 8 de la thèse.

Enfin, les conclusions sur ces travaux sont présentées. Une discussion explicite les apports de la méthode par rapport, notamment, aux méthodes existantes. Des perspectives sont ensuite décrites afin d'explorer certaines pistes identifiées pour poursuivre cet axe de recherche riche et vaste.

PARTIE I : ETAT DE L'ART

Introduction	7
Chapitre 1 : De l'économie de fonctionnalité au Système Produits-Services	9
1. Notions essentielles	9
2. Modèles économiques	11
3. Système Produits-Services (PSS)	14
4. Conclusion du chapitre 1	20
Chapitre 2 : L'écoconception : intégration de la soutenabilité en conception de PSS	21
1. Méthodologies de conception	21
2. Eco-conception	22
3. La problématique de la prise de décision en conception	35
4. Conclusion du chapitre 2	38
Chapitre 3 : Développement Durable et évaluation de la soutenabilité	41
1. Histoire du développement durable	41
2. Enjeux actuel et défis de la soutenabilité et de son évaluation	43
3. Conclusion du chapitre 3	48
Chapitre 4 : Bases conceptuelles et éléments de solution retenus	51
1. Phases de conception de PSS	51
2. Système de support pour la génération d'idées	55
3. Modèle de hiérarchie fonctionnelle	58
4. Cadre de soutenabilité	60
5. Analyse multicritère	65
6. Conclusion du Chapitre 4	68
Conclusion de la partie I	69

Introduction

Les défis de la soutenabilité et de la mondialisation amènent les entreprises à concevoir de nouvelles offres innovantes, notamment en proposant des solutions globales composées de produits et de services organisés à travers la mise en place d'un réseau d'acteurs, appelées Systèmes Produits-Services (PSS). Ces solutions permettent de garantir au client un résultat, une utilisation plutôt qu'un produit, indépendamment de son efficacité.

Ce changement de paradigme implique une évolution des pratiques de conception pour les concepteurs, qui permettrait à la fois d'intégrer les caractéristiques des PSS dans le processus de conception mais aussi de répondre au défi de soutenabilité auquel le PSS est souvent présenté comme une réponse potentielle.

Afin de répondre à cette problématique de recherche, ce travail de recherche a suivi une méthodologie rigoureuse de recherche basée sur la Design Research Methodology (DRM) développée par Blessing et Chakrabarti (2009). Elle est composée de 5 phases, itératives et interdépendantes :

- Une phase de clarification de la recherche (CR) qui sert à définir la question de recherche (QR0) ainsi que le cadre de la recherche à la suite de l'état de l'art dont les résultats sont présentés dans cette première partie (Chapitre 1 à 3)
- Une première phase d'étude descriptive (ED-I) qui s'intéresse à certains points en particulier de la littérature (Chapitre 4) afin d'identifier les facteurs influant dans le but d'affiner la question de recherche en deux sous-questions (QR1, QR2).
- Une phase d'étude prescriptive (EP-I) qui comprend la proposition de la spécification de la méthode et des outils associés à celle-ci (chapitre 4 et 5).
- Une seconde phase d'étude descriptive (ED-II) qui permet d'analyser l'impact de la méthode sur la conception et d'évaluer son efficacité à intégrer la soutenabilité en conception de PSS et enfin, à identifier les améliorations à apporter pour en augmenter l'efficacité. Cette phase s'appuie sur l'application à une première étude de cas (Chapitre 6).
- Enfin, une dernière phase, d'étude prescriptive (EP-II), qui a pour objectif d'implémenter ses améliorations et d'appliquer la proposition à une seconde étude de cas afin de juger de sa généricité (Chapitre 5 et 7).

Cette première partie a donc pour ambition :

- De définir ce nouveau modèle économique innovant basé sur la fonctionnalité et les défis associés.
- De présenter le contexte de la conception de PSS soutenable et de l'apport de l'écoconception
- D'identifier les enjeux de la soutenabilité, de son évaluation et de l'intégration dans la conception.
- De définir et identifier les éléments nécessaires au développement d'un cadre méthodologique d'évaluation au sein du processus de conception de Systèmes Produits-Services soutenables

Chapitre 1 : De l'économie de fonctionnalité au Système Produits-Services

Il est aujourd'hui impératif de trouver de nouvelles façons d'augmenter la valeur perçue ou réelle lors des transactions sans augmenter l'impact environnemental des produits mobilisés. Une solution pourrait passer par la dématérialisation de l'économie, appelé économie de fonctionnalité. Cela reviendrait donc à basculer d'une économie basée sur la production et la consommation de biens à une économie basée sur le service et la garantie d'une fonctionnalité (Goedkoop et al., 1999).

1. Notions essentielles

1.1. Cycle de vie

La mise en œuvre de la responsabilité élargie du producteur a rendu celui-ci responsable également des impacts liés au cycle de vie des produits et services qu'il met en œuvre (Van Niel, 2007; Aurich et al., 2010). Il faut alors étendre l'attention du produit offert exclusivement à une perspective de cycle de vie (Doualle et al., 2015). A savoir : intégrer des phases du cycle de vie qui, historiquement, sont hors du centre d'intérêt de la relation entre fournisseur et client (Aurich et al., 2010).

Cette notion de « pensée cycle de vie » permet de créer des produits dont les éléments sont récupérables et réutilisables à l'infini sans être néfastes à la santé humaine ou à l'environnement (Braungart et al., 2011).

Zwolinski et Brissaud (2006) ont identifié au moins deux points de vue complémentaires vis-à-vis du cycle de vie du produit. D'un part, une approche stratégique (orientée marketing) qui décrit les niveaux de maturité : introduction, expansion, maturité, saturation, déclin. D'autre part, une approche fonctionnelle qui décrit les étapes de la vie du produit : de sa conception à son recyclage.

La « pensée cycle de vie » est liée aussi à un courant de pensée voulant dépasser le modèle de développement linéaire « Extraire, Fabriquer, Jeter » et proposant le terme d'économie circulaire. Ce dernier propose un cycle de développement positif et continu basé sur trois principes : la préservation et le développement du capital naturel, l'optimisation de l'exploitation des ressources et la création des conditions propices au développement d'un système vertueux (Webster et al., 2017).

1.2. Acteurs et réseau d'acteurs

Les modèles économiques basés sur la vente d'un produit ne prenaient en compte les acteurs impliqués et le réseau associés que de façon *a posteriori*, appelé chaîne logistique. Dans la continuité de la pensée cycle de vie, les nouveaux modèles économiques tendent à intégrer la réflexion sur l'organisation, à savoir les acteurs impliqués dans la chaîne logistique car l'organisation nécessite la recherche et l'identification des partenaires et sous-traitants. (Maussang, 2008).

Pour le consommateur, l'évolution de ses attentes suppose de ne pas vouloir forcément un produit ou un service mais plutôt que celui-ci puisse lui permettre d'atteindre un résultat voulu ou de lui fournir une fonctionnalité comme le résume la Figure 1.

Pour le fournisseur, cette évolution du marché nécessite un renforcement des relations entre acteurs et la création de nouveaux partenariats tout au long de la chaîne de valeur (Manzini and Vezzoli, 2003). Cela requiert alors plus de communication et le partage d'informations entre les acteurs. Les fournisseurs seraient alors forcés d'étendre les limites habituelles des phases du cycle de vie (du produit) auxquelles ils s'intéressent (Manzini and Vezzoli, 2002).

Ainsi, les bénéfices, pour le fournisseur, proviendraient d'une efficacité opérationnelle accrue et de l'amélioration d'un positionnement stratégique (Manzini and Vezzoli, 2002).

L'organisation générale de ces nouveaux systèmes est un élément essentiel pour garantir leur pertinence économique. Cette organisation a été défini comme le réseau d'acteurs (Mont, 2004).

Le changement de paradigme dans la façon d'abordé l'organisation est illustré par la Figure 1. Une organisation dite « classique » est composée d'un réseau d'acteurs propre à chaque produit ou service (machine à laver, détergent et service de maintenance par exemple) représenté par trois cycles de vie distincts. La nouvelle organisation propose de ne plus s'intéresser à chaque produit ou service mais à la solution proposée (ici, avoir des vêtements lavés). Ce qui nécessite alors de prendre en compte, certes les trois cycles de vies internes, mais aussi un quatrième qui s'intéresse à l'ensemble du système ainsi conçu. Les trois cycles de vie internes ne sont, dès lors, plus distincts les uns des autres mais deviennent interdépendants.

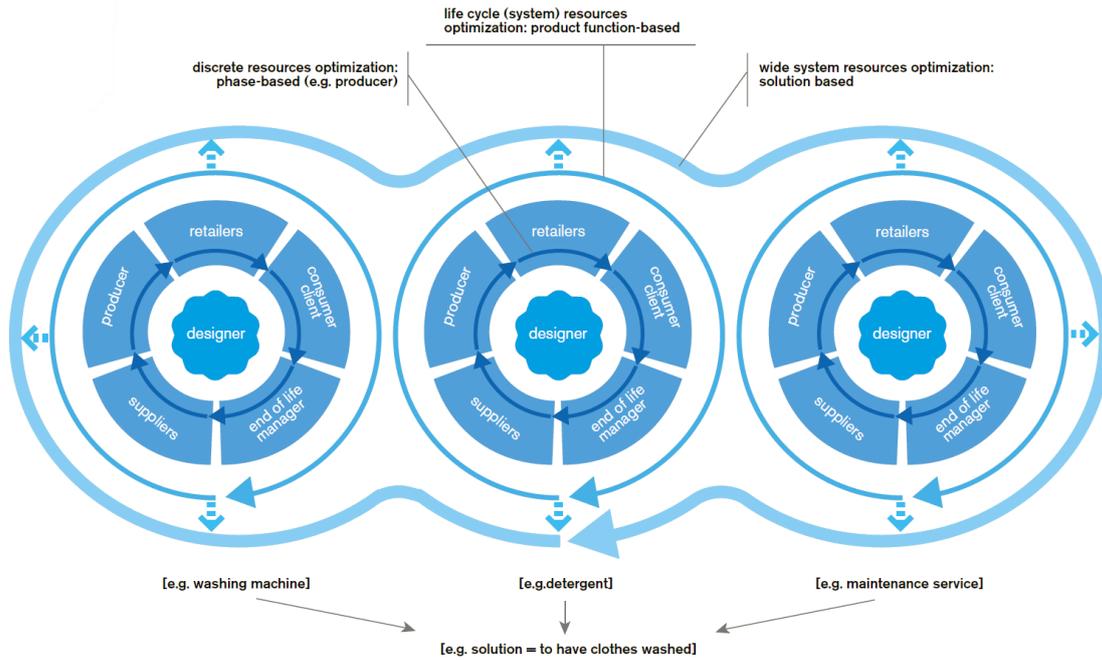


Figure 1 : Articulation des acteurs impliqués dans les différents cycles de vie des produits et des services (système discret et système d'ensemble) (Manzini and Vezzoli, 2002)

2. Modèles économiques

Basé sur ces deux concepts de cycles de vie et de réseaux d'acteurs et sur une volonté de réduire l'empreinte environnementale et sociétale des entreprises, différents modèles économiques et organisationnels ont émergé. Une classification de ces modèles est proposée dans le Tableau 1 : Les 4 nouveaux modèles économiques d'entreprises (Du Tertre, 2007). Cette classification, reposant sur 4 modèles économiques, distingue l'implication territoriale et la tangibilité de la stratégie mise en place. Dans une logique de recherche de soutenabilité, l'implication territoriale doit être la plus forte possible, c'est pourquoi seuls les deux modèles y répondant, à savoir l'écologie industrielle (et son concept-mère l'économie circulaire) et l'économie de fonctionnalité, seront discutés dans les paragraphes suivants.

Tableau 1 : Les 4 nouveaux modèles économiques d'entreprises (Du Tertre, 2007)

	Faible implication territoriale	Forte implication territoriale
Logique industrielle / Technologies matérielles Pas de découplage croissance (verte) / flux de matière	Modèle industriel « propre » : Pas d'articulation des 3 axes du DD	Modèle de l'écologie industrielle : Faible articulation des 3 axes du DD
Logique servicielle / Technologies immatérielles : Découplage croissance / flux de matière	Modèle serviciel, impliquant le bénéficiaire : Articulation partielle des 3 axes du DD	Modèle de l'économie de la fonctionnalité : Forte intégration des 3 axes du DD

2.1. Modèle de l'écologie industrielle

L'écologie industrielle, en lien étroit avec l'économie circulaire, fait des déchets d'un agent économique les ressources d'un autre, et cela par le bouclage des flux et la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie de production (Erkman, 2004). L'écologie industrielle se distingue de l'économie circulaire par l'innovation territoriale et de gouvernance, car au-delà du modèle économique, c'est aussi le tissu relationnel entre les acteurs d'un territoire qui est au centre de ce modèle comme l'illustre la Figure 2.

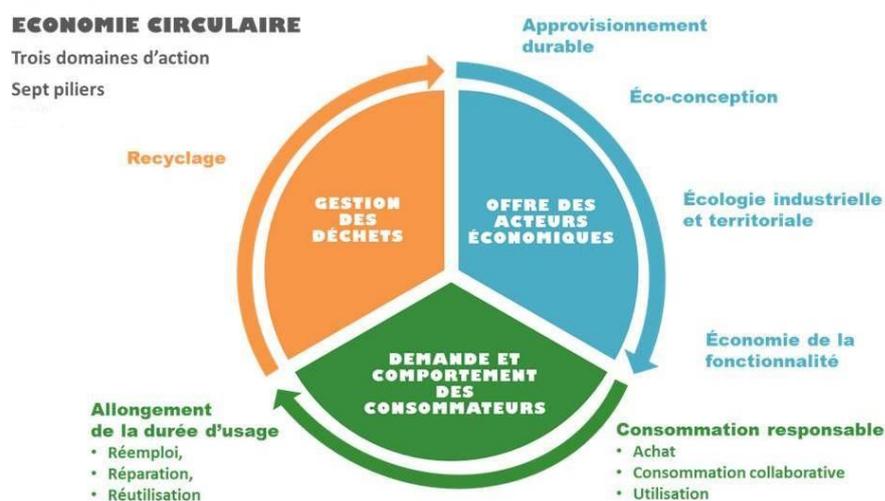


Figure 2 : Domaines d'actions de l'économie circulaire et des piliers associés (ADEME, 2017)

Des stratégies particulières voient ainsi le jour, telles la mutualisation ou la mise en place de synergies, de ressources matérielles mais aussi immatérielles (Du Tertre, 2007).

Cela nécessite donc, *de facto*, une plus étroite collaboration entre les industriels qui va au-delà de la relation marchande classique.

Cependant, l'écologie industrielle ne rompt pas totalement avec le modèle productiviste, la croissance est couplée à une augmentation des flux de matières et d'énergie, même si ceux-ci sont en boucle fermée. De plus, l'écologie industrielle n'offre pas de vision globale sur le Développement Durable, les questions sociétales sont exclues de la réflexion, certaines questions environnementales et économiques (toxicité des substances notamment, impact sur la macro-économie, valeur ajoutée pour le client) ne font pas partie du périmètre d'intervention de l'écologie industrielle (Allenby, 1992; Orsato and Wells, 2007).

2.2. Modèle de l'économie de fonctionnalité

Les origines de l'économie de fonctionnalité proviennent d'un travail de questionnement de la notion de valeur abordée par Giarini, (1981). Ce questionnement a permis de faire naître le concept d'économie de fonctionnalité notamment avec les travaux réalisés lors de la collaboration de Stahel et Giarini (1994). Différents termes peuvent être rassemblés sous le concept d'économie de fonctionnalité tels que *service economy* ou *performance economy* qui néanmoins ne traduisent pas complètement la pensée soutenable du concept. Elle se limite à une optimisation de la combinaison entre les produits d'une part et les services d'une autre, c'est pourquoi la définition s'est axée sur la notion de paiement à l'usage plutôt qu'à l'achat (Stahel & Giarini, 1989). S'en suit alors les notions de non-transfert de propriété comme modèle, en lien avec la maximisation de la valeur d'usage aux moyens de services et de biens optimisés dans leurs usages et leurs fonctions (Stahel 2006).

Ces travaux et la construction de l'économie de fonctionnalité, sont ainsi issus de la démarche de servicisation de l'économie, visant à rendre le service comme une activité génératrice de profit et de différenciation vis-à-vis de la concurrence. Cela influe également sur le rapport des acteurs du marché au produit. En effet, dans le modèle économique traditionnel, le producteur crée la valeur et le client la détruit. Dans l'économie de fonctionnalité, le producteur fournit la valeur et le client l'utilise. Il fait donc partie d'une stratégie « gagnant-gagnant » de remplir la fonction de façon constante de telle sorte à fournir la valeur associée (Mont, 2004). Cette valeur économique va passer d'une valeur d'échange à une valeur d'usage, ce qui revient à élargir le prix de revient aux phases de fonctionnement, de maintenance et de fin de vie (Van Niel, 2014).

De façon plus opérationnelle, le concept a été traduit en différentes notions telles que *eco-efficient services* (Brezet et al., 2001), *eco efficient producer services* (Bartolomeo et al., 2003), *servicizing*, (White et al, 1999), *functional sales* (Lindhahl, 2001) et *products-*

services systems (Mont, 2002) toutes étant considérées dans les différentes revues de littérature comme connexes (Van Niel, 2014). Ces notions ont un objectif commun, transformer la relation antagoniste du producteur et du client dans le modèle de transaction classique en une relation de convergence dans le modèle économique de type *functional sales* où « l'unité de transaction est la fonction délivrée par un produit, et non le produit *per se* » (Lindahl & Olundh, 2001).

L'économie de fonctionnalité est aussi parfois définie par « la substitution de la vente de l'usage d'un bien à la vente du bien lui-même » (Bourg and Buclet, 2005). Les produits physiques ne sont plus le noyau de la discussion entre le fournisseur et le client, la négociation est sur la fonction délivrée, fonction mobilisant les produits comme des moyens pour y parvenir. Le producteur garde alors la propriété du produit, dont il a alors intérêt à optimiser son utilisation dans son efficacité et sa longévité (Van Niel, 2014).

Ces travaux ne mettent pas en avant de façon intrinsèque le côté écologique de l'économie de fonctionnalité, ils sont centrés sur une rationalité économique : création de richesses par de nouvelles formes de valeur ajoutée et de réduction des coûts de revient (Van Niel, 2007).

3. Système Produits-Services (PSS)

Un système produits-services est défini par : « un mélange de produits matériels et de services immatériels conçus et combinés pour être conjointement capables de remplir les besoins du client final » (traduction de Tukker and Tischner, 2006). Cette définition met en avant une proposition de valeur spécifique qu'un réseau d'acteurs offre à son client (Tukker, 2013).

3.1. Qu'est-ce qu'un système ?

« Un système est un ensemble d'éléments, y compris leurs relations »

(Goedkoop et al., 1999)

Cette définition correspond bien à la définition d'un Système Produits-Services puisqu'elle contribue, comme le souligne Tukker et Tischner (2006) dans leur définition, à mettre en avant non seulement les produits et les services mais aussi la façon dont ils sont « [...] **combinés** pour être **conjointement** capable de remplir les besoins [...] ».

C'est bien que la relation entre les éléments est tout aussi importante que les éléments eux-mêmes. Cette définition est proche de la définition du systémicien Joël de Rosnay dans son *Macroscopie* : "un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but" (1977).

Les éléments d'un système peuvent être immatériels (service) et matériels (produits). Un niveau hiérarchique des frontières du système et des relations est alors le résultat de l'objectif de définition (Goedkoop et al., 1999).

Les différentes notions qui viennent d'être introduites sont explicitées dans la suite de ce mémoire.

3.1.1. Le service dans les Systèmes Produits-Service

Le service est majoritairement défini, dans le domaine des PSS, à travers ses caractéristiques et propriétés. Une définition globale a été proposée par Goedkoop et al. (1999) qui considèrent un service comme une activité avec une valeur économique qui est faite, souvent, à titre commercial ce qui comprend donc les activités humaines et automatisées.

D'autres définitions proposent d'analyser le service en opposition au produit physique.

Le **service technique** qui peut se définir à travers ces propriétés (Aurich et al., 2006) :

- Etant principalement immatériel.
- Etant réalisée et consommée simultanément
- Nécessitant l'intégration du consommateur pour la fourniture des produits et/ou du personnel pour la réalisation du dit service.

De façon similaire, Morelli (2002) analyse un **composant de service** selon trois principales caractéristiques du produit, pour en faire la comparaison :

- La relation entre l'utilisateur, le concepteur et le fournisseur du service : le fournisseur de service façonne le service avec l'utilisateur ce qui nécessite qu'ils soient en contact. De plus, dans le service, l'utilisateur participe au processus de production.
- Le temps de production et de consommation : le service prend toute son existence, autant lors de sa production que lors de son utilisation, le temps de production et d'utilisation est donc le même. Par ailleurs, le service est développé et fourni pendant une certaine période et sa configuration peut varier avec son utilisation.

- L'intensité matérielle : le service n'étant pas tangible, il ne peut être stocké, ne peut changer de propriétaire, et il n'existe pas dans l'espace mais uniquement dans le temps.

Ces deux auteurs convergent assez fortement. De plus, (Maussang et al., 2009) présente également cette opposition Produit/service par la distinction de l'**unité de service** et du **bien physique** où l'unité de service sert à assurer le bon fonctionnement du système global.

La notion de cycle de vie a été introduite comme un élément clé des Systèmes Produits-Services. En effet, appliquée au service, le cycle de vie peut se limiter à la conception du service et à ses phases de réalisation (Aurich et al., 2010).

3.1.2. Le produit dans les Systèmes Produits-Services

Un produit peut être défini comme un objet physique qui a été fabriqué pour être vendu (Goedkoop et al., 1999). Cet objet physique a pour objectif de remplir un besoin du client de façon partielle ou complète.

D'un point de vue fonctionnel, le produit, tout comme le service, est une entité fonctionnelle car il porte des fonctions élémentaires au bon fonctionnement du système (Maussang et al., 2009).

En réutilisant les trois caractéristiques proposées par Morelli (2002) et développées précédemment et en les appliquant au produit, le contraste entre service et produit peut être mis en lumière:

- La relation entre l'utilisateur, le concepteur et le fournisseur du service : le fournisseur du produit n'a généralement aucun contact avec l'utilisateur, d'autant moins pendant le processus de production.
- Le temps de production et de consommation : Le produit est produit et consommé à des temps différents de son cycle de vie. Sa configuration ne change pas (sauf cas spécifique) entre sa production et son utilisation, comme cela est le cas pour le service.
- L'intensité matérielle : le produit est tangible, il est alors possible de le stocker, il peut changer de propriétaire (ce qui est le cas lorsqu'il est vendu). Le produit peut toujours être défini dans le temps et l'espace.

3.1.3. Les cycles de vie des systèmes Produits-Services

Cette combinaison de produits et services étant fournie par un réseau d'acteurs (Goedkoop et al., 1999), il est nécessaire de considérer les différents cycles de vie. Le produit et le service ayant des cycles de vie dédiés, il faut alors les considérer dans le cycle de vie du système globale, comme le montre la Figure 3. Les deux cycles de vie diffèrent car le service est immatériel et possède une durée de vie courte. En effet, dans le cas du service, la production est simultanée à l'utilisation.

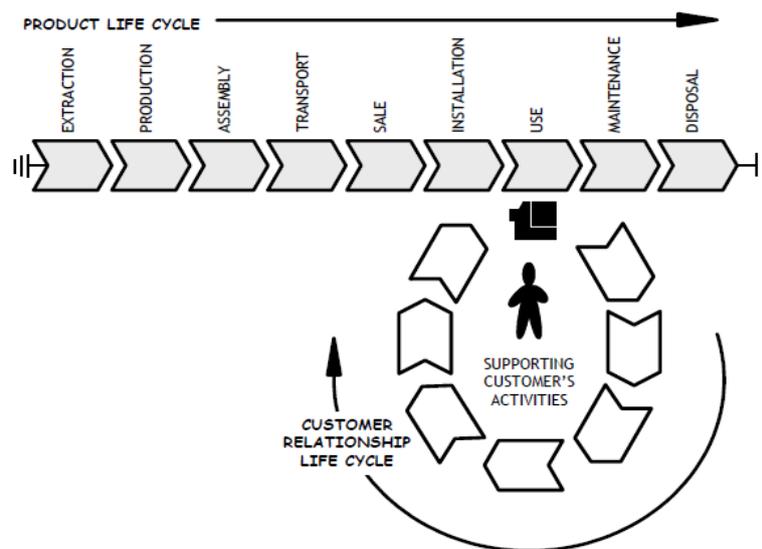


Figure 3 : Les deux cycles de vie (celui du produit et celui du service) doivent être considérés. (Tan et al., 2006)

Dès le passage au système Produits-Services, ces cycles de vie vont permettre au fournisseur d'étendre sa responsabilité en parallèle de l'extension de sa possession contractuelle du produit et donc la pensée cycle de vie doit être un des centres de l'attention. Par conséquent, certaines phases sont réintégrées dans les considérations du fournisseur, certaines phases qui sont habituellement hors du champ classique de la relation client/fournisseur (par exemple la reprise en fin de vie, le recyclage, la réutilisation, ...) (Aurich et al., 2010).

3.2. Intérêt économique des systèmes Produits-Services

Pour que les entreprises mettent en œuvre les Système Produits-Service et le modèle économique associé, il est nécessaire de démontrer l'intérêt économique de ceux-ci. Avant tout, ce modèle économique est basé sur une stratégie « gagnant-gagnant » car les Systèmes Produits-Services sont issus d'une collaboration et d'un partenariat fort entre

les différents acteurs de la chaîne de valeur et c'est donc dans l'intérêt de tous, que chacun y trouve un avantage économique (Maussang, 2008).

Pour le client, les PSS ont pour but de fournir la valeur à travers une offre combinant personnalisation et une meilleure qualité. Les services associés aux produits permettent également une plus grande flexibilité (Vezzoli et al., 2014). A cette flexibilité améliorée, s'ajoute une meilleure compréhension des besoins du client qui résulte du renforcement de la relation entre le client et le fournisseur de PSS (Trevisan, 2016). Enfin, certaines tâches engendrant coûts et problèmes, par exemple, la maintenance ou la fin de vie ne sont plus de la responsabilité du client, ce qui peut le soulager (Vezzoli et al., 2014)

L'intégration des services dans les offres essentiellement « produit » fournisseur de PSS peut augmenter sa compétitivité par une réponse plus personnalisée aux besoins du client et à une diversité des offres (Manzini and Vezzoli, 2002). Cela peut également permettre de développer de nouveaux marchés et de se différencier de la concurrence grâce à des offres offrant une meilleure valeur ajoutée au client (Vezzoli et al., 2014).

3.3. Intérêt écologique des systèmes Produits-Services

Dans le contexte actuel de recherche de soutenabilité, les modèles de production et consommation ne peuvent plus être uniquement issus d'une pérennisation économique du système. Jusqu'au début du XXI^e siècle, la réponse habituelle aux problèmes environnementaux impliquaient plutôt des mesures de réduction de la pollution et des déchets après qu'ils aient été produits (Roy, 2000).

Les systèmes Produits-Services permettent d'apporter, en plus de l'intérêt économique, un bénéfice écologique lors de leur mise en œuvre.

La diminution de l'utilisation des matières premières est une des conséquences de l'augmentation de l'intensité d'utilisation, de la mutualisation et de la prolongation de la durée de vie des produits qui sont des bénéfices potentiels des Systèmes Produits-Services (Goedkoop et al., 1999; Mont, 2002).

L'utilisation de matières premières renouvelables (avec un taux de renouvellement supérieur au taux de prélèvement) permet de préserver les ressources naturelles tout en pérennisant l'approvisionnement pour le producteur.

Ces offres engendrent également une réduction des déchets produits car le producteur a tout intérêt à boucler les flux de matières et d'énergie par la règle des 3R (Réutiliser, Remanufacturer, Recycler) (Manzini and Vezzoli, 2002; Van Niel, 2007).

Les impacts environnementaux résultant de la logistique et du transport tels que les émissions de polluants ou la consommation d'énergie fossile peuvent être diminués grâce à la dématérialisation ou à la réduction des fréquences de distribution (Lelah et al., 2011; Manzini and Vezzoli, 2003).

3.4. Intérêt sociétal des systèmes Produits-Services

L'intérêt sociétal des systèmes produits-services n'as eu que peu d'attention ces dernières années et cela est une des raisons de la non-percée de ces offres innovantes (Halme et al., 2004). Pourtant leur intérêt sociétal semble non-négligeable.

Une des particularités des services est que leur consommation est simultanée à leur production. Les services doivent donc essentiellement se baser sur le contexte local d'implantation, ce qui amène des retombées sur les communautés locales, tant en terme d'emplois que de valorisation de la culture locale et d'utilisation de ressources locales (Halme et al., 2004; Vezzoli et al., 2014).

Un PSS est, par ailleurs, le fruit d'un partenariat entre les acteurs et parties prenantes. Ce qui oblige à mettre en place des relations équitables et justes afin de garder cette cohésion au sein des partenariats créés (Lockett et al., 2011).

Les communautés locales, étant partie prenante, il faut aussi que ces relations vis-à-vis des autres parties mais également vis-à-vis de l'offre soient équitables et justes. En plus d'être impactées par l'implantation de l'offre, elles sont aussi parfois les producteurs et/ou les clients des PSS. Les conditions de travail sont alors une conséquence de cette prise en compte des parties prenantes et de la recherche de soutenabilité. En tant que client potentiel issu de l'élargissement du marché, une offre peut alors devenir accessible à des personnes qui n'en avaient pas la possibilité dans le cadre du modèle économique « classique » (Halme et al., 2004; Vezzoli et al., 2014).

3.5. Soutenabilité des systèmes Produits-Services

Les PSS peuvent apparaître comme une solution soutenable, ils en ont le potentiel. Il convient alors de transformer cette promesse en une réelle utilité vers la soutenabilité (Manzini and Vezzoli, 2002).

Certains exemples montrent en effet, que les PSS sont parfois des stratégies de soutenabilité à court terme car elles sont basées sur des technologies existantes et sont inscrites dans un certain contexte socio-culturel (Manzini and Vezzoli, 2003), ce contexte

dont le chapitre 1 a pu montrer les limites et les contradictions avec la recherche de soutenabilité.

Cependant, cette promesse et ce potentiel de soutenabilité des PSS ne doivent pas non plus être négligés car il pourrait coupler la soutenabilité avec une dynamique de changement culturel émergente. Pour les pays développés, les PSS représentent une trajectoire dans la transition en cours vers une économie de service. Pour les pays émergents, ils représentent un développement industriel tout en évitant les erreurs commises par les pays développés (Manzini and Vezzoli, 2002).

4. Conclusion du chapitre I

Ce chapitre a pu mettre en évidence l'intérêt des PSS, de son émergence pour répondre aux problématiques de la société de consommation. Les caractéristiques spécifiques d'un PSS en font une solution potentielle aux défis de la soutenabilité mais aussi du système économique.

L'intégration de la pensée en cycle de vie du système permet de mieux prendre en compte les impacts futurs afin de les anticiper et de mettre en place des actions correctrices. La prise en compte des acteurs et du réseau qu'ils composent renforce la collaboration sur l'ensemble du cycle de vie afin de partager les différences de points de vue et la compréhension des intérêts de chaque acteur.

Les PSS obligent à changer le paradigme du système économique aussi bien pour la production que pour la consommation de biens et services. Pour cela, il est nécessaire que le processus de conception de ces systèmes soit également un processus d'apprentissage et de sensibilisation à la soutenabilité. Celle-ci doit être l'élément central du processus de conception des PSS afin de leur permettre d'atteindre le potentiel qu'ils semblent posséder.

Chapitre 2 : L'écoconception : intégration de la soutenabilité en conception de PSS

Ce changement de paradigme devra prendre en compte les spécificités des PSS afin d'atteindre un potentiel de soutenabilité, pressenti mais rarement atteint.

Ce chapitre a pour objectif tout d'abord, d'analyser le processus de conception et d'écoconception avant de se focaliser sur le cadre spécifique des PSS. Cette analyse débouchera sur l'approfondissement de la prise de décision en conception de PSS.

1. Méthodologies de conception

1.1. Modèles du processus de conception

La conception est la phase amont sur laquelle les actions sont privilégiées pour développer et mettre en place ces nouvelles stratégies industrielles. Une structure de la conception a été proposée par Pahl et Beitz (1999) et une articulation en quatre étapes (Maussang, 2008) :

1. *Planning and clarification* : clarification de la tâche, élaboration des spécifications
2. *Conceptual design* : identifications des problèmes, établissement de la structure fonctionnelle, recherche de principes de solution, combinaison des variantes, évaluation des critères
3. *Embodiment design* : développement préliminaire de la structure et des formes de conception, sélection de la meilleure structure, affinement et évaluation des critères, optimisation et amélioration, vérification d'erreurs, préparation d'une liste préliminaire de pièce

Detail design : finalisation des détails, enrichissement des dessins de production

Ulrich et Eppinger (2011) propose une décomposition similaire, à ceci près qu'une étape de production est ajoutée à la fin.

La conception axiomatique propose elle aussi des principes de conception fondamentale. Cette méthode permet de guider lors des processus de projections entre les différents univers de la conception afin de définir les éléments tels que les besoins du client, les fonctions, les paramètres et les variables de conception (Suh, 1998). Ces quatre éléments

appartenant chacun à un univers différent, ils sont reliés au sein du processus de conception tels que les besoins soient convertis en fonction et que les fonctions se concrétisent au travers de paramètres puis de variables. Selon Suh, les concepteurs traversent ces quatre univers, indépendamment du champ d'application (Suh, 1990).

Une autre approche de la conception consiste à analyser la valeur apportée par le système au fournisseur mais également au client. Cette analyse de la valeur permet de définir la valeur comme un ratio entre fonctions et coût économique (Miles, 2015). Deux leviers sont alors possibles pour augmenter cette valeur :

- Fournir plus de fonctions à un coût identique
- Réduire le coût global tout en fournissant les mêmes fonctions

Par ailleurs, Tan et al. (2007) définissent les systèmes produits-services comme des stratégies d'innovation se concentrant sur l'ensemble du cycle de vie des produits et des services. Par conséquent, les acteurs impliqués dans ce genre de système peuvent retirer de la valeur de phases traditionnellement exclues de la conception. Cependant, Maussang propose une définition de la valeur qui va au-delà du critère économique pour les systèmes produits-services mais qui engloberait aussi la valeur affective et sociale (2008).

Par conséquent, l'analyse de la valeur nécessite de mobiliser analyse fonctionnelle pour la définition des fonctions nécessaires au calcul de la valeur apportée par le système. L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à décrire les besoins des clients en fonctions (techniques ou de service) et en solutions (Maussang, 2008).

2. Eco-conception

Malgré les apports potentiels qui peuvent être attendus des PSS, il ne suffit pas seulement de comprendre l'intérêt de la mise en place de telles stratégies pour que l'objectif de soutenabilité soit atteint. La mise en place d'outils et méthodes à disposition des acteurs afin de faciliter le développement et la mise en œuvre de ces stratégies est indispensable. Le *World Business Council for Sustainable Development*, a vu dans l'écoconception une approche en faveur des produits soutenables (Domingo, 2013).

L'écoconception correspond à une solution durable visant à trouver un équilibre entre impact environnemental et viabilité économique (Brezet et al., 1997). Eco-concevoir revient donc à intégrer le plus tôt possible, c'est-à-dire dès la conception, les problématiques environnementales au sein d'une pensée cycle de vie. Comme le précise Reyes Carrillo (2007), les impacts sociaux sont aussi inclus dans le concept d'écoconception.

C'est en résumé une démarche globale qui vise à réduire les impacts environnementaux et sociaux tout en conservant les fonctions du produit et la satisfaction du client. Cela nécessite donc une nouvelle façon de concevoir afin d'y intégrer les piliers du développement durable (Reyes Carrillo, 2007).

De ce fait, l'écoconception doit intégrer deux principes supplémentaires en comparaison de la conception « classique » (Domingo, 2013) :

- L'équivalence de l'unité fonctionnelle entre conception et évaluation afin de rendre possible la comparaison entre les différentes typologies de stratégies industrielles ?
- La pensée cycle de vie (et l'Analyse de Cycle de Vie associée) comme élément central de l'écoconception afin d'éviter tout transfert d'impact, qu'il soit d'un indicateur vers un autre ou qu'il soit d'une phase du cycle de vie à une autre.

Pour autant, il existe une multitude de démarches d'écoconception, avec différents niveaux d'intégration de l'environnement (et de la soutenabilité). L'évolution du concept et des démarches d'écoconception ces dernières années, représentée dans la Figure 4, montre que l'intégration de l'écoconception et le potentiel de réduction des impacts se sont renforcés au cours du temps (Millet et al., 2003).

Au-delà de l'évolution temporelle, les démarches d'écoconception traduisent trois façons différentes d'aborder cette problématique (Brezet et al., 1997; Millet et al., 2003; Reyes Carrillo, 2007):

- L'écoconception partielle : elle traduit une approche conformiste de l'environnement, comme une contrainte supplémentaire à ajouter au cahier des charges. Elle mène à une faible modification (et donc amélioration) des produits étudiés. On peut approprier ça à un niveau « concret ».
- L'écoconception classique : l'environnement est ici un nouveau critère. Le produit est alors un système pris dans l'ensemble de son cycle de vie. Cela amène à une amélioration globale du produit par une reconception écologique. On peut approprier ça à un niveau « méthodologique ».
- l'écoconception innovante : l'environnement est ici une nouvelle valeur ajoutée. La démarche ne s'intéresse plus uniquement au produit ou au service mais à la valeur ajoutée fournie à l'utilisateur. Cela implique un réel changement culturel et une vision très systémique du développement durable. On peut approprier ça à un niveau « des valeurs ».

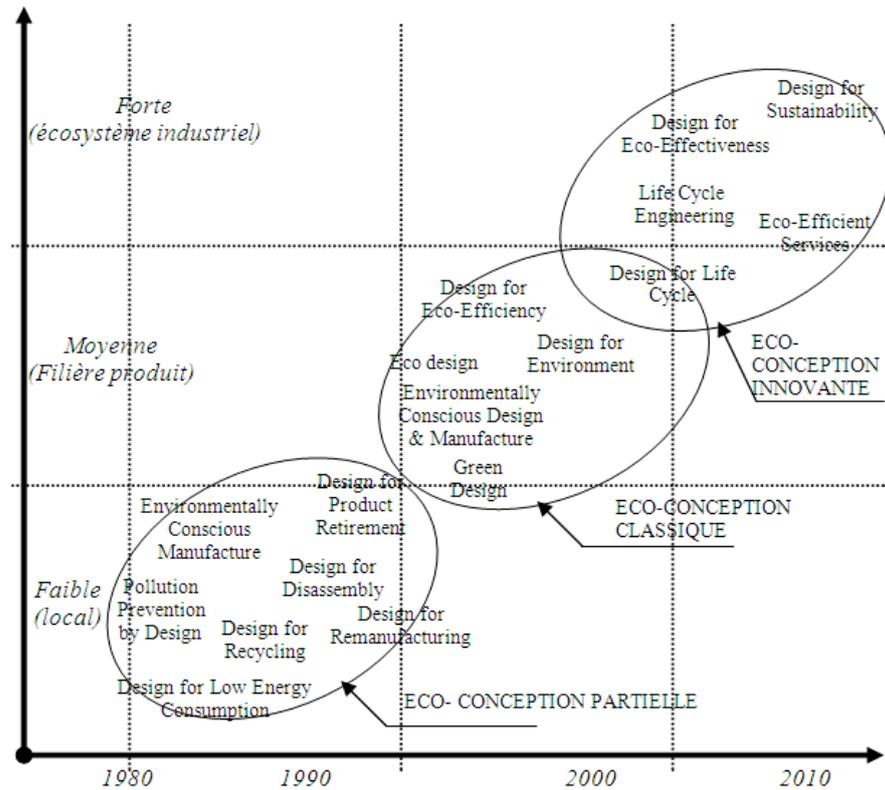


Figure 4 : Evolution temporelle du niveau d'intégration de l'écoconception, et des différentes démarches associées (Millet et al., 2003)

En faisant un lien avec le concept de PSS introduit au Chapitre 1, l'écoconception innovante semble correspondre à la problématique de la conception de système Produits-Services soutenable. Cela nécessite que l'ensemble des acteurs économiques, techniques et administratifs soient mis en relation au travers des connaissances de l'entreprise en matière de soutenabilité.

2.1. Outils d'écoconception

Avec l'essor de l'éco-conception, une multitude d'outils a vu le jour afin de correspondre aux différentes approches décrites précédemment. Plus de 600 outils d'écoconception ont été identifiés, ce qui montre la diversité des besoins et des réponses associées (Rousseaux et al., 2017). Couplé à ce recensement, (Rousseaux et al., 2017) ont proposé une taxonomie de ces outils en différentes catégories reposant sur des caractéristiques intrinsèques tels que:

- Le premier niveau structure les outils suivant s'ils répondent à des exigences réglementaire ou non-réglementaire.

- Au deuxième niveau les outils réglementaires peuvent être obligatoires ou volontaires ; et les outils non-réglementaires peuvent être normatifs ou non-normatifs.
- Le troisième niveau, comme les suivants, ne s'intéresse qu'aux outils non-réglementaires. Il introduit la différence entre les approches génériques et les approches sectorielles.
- Ensuite, les outils peuvent fournir deux types d'informations : des informations d'un point de vue environnemental (analyse ou évaluation) ou des recommandations à prendre en compte.
- Les outils correspondant au point de vue environnemental sont alors quantitatifs ou qualitatifs.
- Enfin le dernier niveau de classification différencie les outils informatiques, car notamment plus rapides à utiliser et permettant de traiter une énorme quantité de données. C'est pourquoi cette classification n'est possible que pour les outils non-réglementaires, non normatifs, qui fournissent, d'une part, le point de vue environnemental de façon quantitative ; et d'autre part, des recommandations.

2.2. Outils et méthodes existantes pour la conception de PSS soutenable

2.2.1. Conception de PSS

Comme nous avons pu le voir, les outils de conception et d'écoconception sont très orientés produits. La conception de PSS ne permet pas de pouvoir mobiliser pleinement les outils et méthodes déjà existants. En effet, les caractéristiques d'un système produits-services, explicités dans le chapitre 2, font de ces systèmes de nouveaux objets d'étude à part entière.

L'approche de conception de ces PSS varie également, ils sont tantôt abordés comme un produit auquel des services sont associés, tantôt comme un résultat ou une fonction fourni au client (Maussang, 2008). Maussang (2008) a pu distinguer trois grandes familles de méthodes de conception qui peuvent être reliées à la typologie proposée par Tukker (2003) :

- **Les méthodologies orientées produit** abordent les notions de cycle de vie du produit, les services techniques et un découpage en sous-systèmes interagissant entre eux, notions essentielles pour les PSS.

- **Les méthodologies orientées services** examinent principalement la vision globale de l'organisation nécessaire.
- **Les méthodologies pour les systèmes produits-services** sont centrées sur les phases de conception préliminaires (Van Halen et al., 2005). Elles servent à identifier les nouvelles fonctionnalités, les nouveaux marchés et le développement de scénarios.

Cette catégorisation a notamment permis de mettre en évidence le besoin de modéliser le système, et non plus le produit ou service uniquement. Les fonctionnalités attendues et les interactions entre les acteurs doivent être décrites et peuvent se faire via la description des scénarios pour avoir une vision globale du système conçu.

2.2.2. Modèles de conception

Un Système Produits-Services est, comme il a été démontré plus tôt, avant tout un système. La théorie de la « pensée système » est fondamentale pour conceptualiser les Systèmes Produits-Services et avoir une meilleure compréhension du rôle de l'ingénierie de service et l'ingénierie système. Le domaine de l'ingénierie système a des outils et méthodes de conception existantes qui peuvent servir de point d'ancrage au développement des Systèmes Produits-Services (Cavalieri and Pezzotta, 2012).

L'ingénierie système a ainsi permis de fournir des modèles de conception qui ont inspiré la plupart des modèles de conception dédiés aux PSS. Ces modèles classiques sont de trois types (Cavalieri and Pezzotta, 2012) :

- **Modèle cascade** : Processus séquentiel et linéaire passant par l'*analyse des besoins*, *conception*, *mise en œuvre*, *test (validation)*, *intégration et maintenance*. C'est un modèle étape-par-étape et les retours d'information sont limités à l'étape précédente (Royce, 1970).
- **Modèle en V** : Processus de conception en V. Le côté gauche représente l'identification des besoins et des spécificités du système. Le côté droit représente l'intégration et la vérification de la conception (Forsberg and Mooz, 1991).
- **Modèle en spirale** : Processus guidé par le risque, souvent utilisé dans la conception multi-acteurs concurrents. C'est une approche cyclique qui permet de réduire le risque au fur et à mesure que la définition du système se précise (Boehm and Hansen).

Une étude de différents modèles de conception développés spécialement pour les PSS a proposé un cadre structurant de l'ingénierie qui décompose la vie d'un PSS en

trois périodes (Début de vie, Milieu de vie, Fin de vie) elles-mêmes décomposées en phases, présenté dans le Tableau 2: Description des phases du processus de conception [traduit de Cavalieri and Pezzotta, (2012)] .

Tableau 2: Description des phases du processus de conception [traduit de Cavalieri and Pezzotta, (2012)]

Période	Phases
Début de Vie	Génération des besoins
	Identification des besoins
	Analyse des besoins
	Génération d'idées et évaluation
	Développement des concepts et évaluation
	Concrétisation de la conception et évaluation
	Conception détaillée
	Test (prototype/simulation)
	Conception finale
	Mise en œuvre et mesure
Milieu de Vie	Milieu de vie
	Suivi et évaluation
Fin de Vie	Support de fin de vie
	Analyse du suivi et du retour d'expérience

2.3. Soutenabilité des PSS

Afin de concevoir des PSS plus soutenables, il faut permettre aux décideurs d'avoir les informations nécessaires à leur décision. Un cadre doit alors être développé pour permettre de fournir ces informations.

Le caractère multidimensionnel de la soutenabilité rend le concept impossible à être évalué par un seul et unique critère (Doualle et al., 2015). Il est alors essentiel de considérer les trois piliers, respectivement social, économique et environnemental, dans

le but de fournir une évaluation la plus exhaustive possible. Pour se faire, il est nécessaire d'adapter les indicateurs existant pour l'évaluation de la soutenabilité ou d'en développer de nouveaux si cela s'avère nécessaire. Ces indicateurs, dès lors qu'ils n'ont pas les mêmes unités, nécessitent également des facteurs de caractérisation afin de les traduire en impacts (Chou et al., 2014). La soutenabilité ne peut donc être définie, et évaluée qu'en intégrant complètement ces trois piliers dans leur ensemble.

Une évaluation séparée de ces trois piliers ne permet pas d'appréhender ou d'évaluer la soutenabilité dans sa complexité et son entièreté. Cependant, vu le peu de travaux traitant de la soutenabilité, étudier les 3 piliers de façon séparée peut fournir une base au développement d'un cadre de soutenabilité (Doualle et al., 2015).

2.3.1. Evaluation environnementale des PSS

Parmi l'ensemble des méthodes d'évaluation environnementale, l'Analyse de Cycle de Vie est perçue comme un moyen d'évaluer l'impact des PSS sur l'environnement. Cette méthode n'étant pas développée pour le contexte des PSS, son application à ce contexte particulier nécessite une adaptation de la méthode ACV (Dal Lago et al., 2017). L'ACV est un outil de comparaison d'impacts environnementaux de systèmes permettant de réaliser une même fonction. Ainsi, les comparaisons sont réalisées sur la base d'Unité Fonctionnelle dans un périmètre donné.

La définition de cette unité fonctionnelle est un des exemples de ce besoin d'adaptation. En effet, l'ACV a été essentiellement conçue pour l'évaluation de l'impact environnemental d'un produit ou d'un service et non pas d'un système comprenant à la fois produits et services tel que le PSS. Il faudra alors être particulièrement vigilant à la définition de cette unité fonctionnelle. De plus, la définition de l'unité fonctionnelle est une étape cruciale car elle est étroitement liée à la définition du périmètre et par conséquent du résultat de l'évaluation (Doualle et al., 2015).

Le périmètre lui-même est plus compliqué à définir dans le cas d'un PSS car il nécessite la modélisation des processus qui dans le cas d'un PSS est un mélange hétérogène, dû aux produits tangibles et aux services intangibles, ce qui complexifie la modélisation.

L'évaluation environnementale des PSS s'est traduite, dans la littérature essentiellement au travers de l'analyse de cycle de vie (Amaya et al., 2014; Bonvoisin et al., 2014; Lelah et al., 2011; Lindahl et al., 2014; Shih et al., 2009).

Il est par ailleurs intéressant de noter que les méthodes utilisées par les concepteurs de produits pour évaluer l'impact environnemental ne sont pas celles qui sont communément utilisées par la communauté des ACVistes, à savoir ILCD2011 et ReCiPe.

Cela s'explique notamment par la relative complexité d'interprétation de ces deux méthodes pour un non-initié à l'ACV ; Les méthodes utilisées dans la littérature identifiées précédemment sont : *Eco-Indicator 99* et *Environmental Improvement Made Easy* (EIME) (Doualle et al., 2015).

La méthode *Eco-Indicator 99* est largement utilisée chez les concepteurs bien que cette méthode soit aujourd'hui intégrée dans la méthode ReCiPe. Cette méthode est utilisée par les non-experts en ACV car elle permet d'obtenir des résultats concis via 3 indicateurs de dommages (Santé humaine, Qualité des écosystèmes et Ressources). La méthode permet également de fournir un score unique, appelé Ecopoint, agrégation des trois indicateurs de dommage qui permet une vue globale facilement appréhendable de l'évaluation.

Appliquée au PSS, Lindahl et al. (2014) ont utilisé l'évaluation environnementale afin de comparer plusieurs offres commerciales dans trois contextes différents (bouchon pour l'industrie, nettoyage de façade et compactage du sol). Dans l'ensemble de ces contextes, deux sont actuellement mises sur le marché : une offre de vente « classique » et une offre PSS et une troisième consiste à une offre intermédiaire entre les deux précédentes. L'évaluation environnementale sert ici non pas à la conception *a priori* d'une offre PSS mais à évaluer *a posteriori* le gain environnemental d'une offre PSS comparativement à une offre classique. Cette évaluation à travers le score unique, mis en base 100 sur l'offre la plus impactante, permet une compréhension aisée au détriment du détail. L'étude montre un gain entre les deux scénarios existants de plus de 90% pour le contexte du bouchon à destination de l'industrie, de plus de 95% pour le nettoyage de façade et de plus de 25% pour le compactage du sol. Le scénario intermédiaire montre lui aussi un gain, même si celui-ci reste inférieur au scénario d'une offre PSS, dans l'ensemble des contextes.

D'autres études ont analysé *a priori*, l'impact environnemental d'un PSS. Amaya et al. (2014) par exemple, dans leur analyse du système Vélo'V (location de vélo en libre-service) comparent également différents scénarios dont certains sont actuels (l'utilisation d'un vélo personnel et l'utilisation du Vélo'V actuellement) et d'autres, hypothétiques afin de comparer quatre différentes stratégies de conception (respectivement amélioration de la robustesse, de la maintenance, de la redistribution et combinaison des trois stratégies). Le gain environnemental serait, selon les scénarios, de 58% pour l'utilisation du Vélo'V actuellement et respectivement 68%, 65%, 65% et 78 % pour les stratégies de conception. En plus d'avoir identifié le gain des différents scénarios, l'ACV a permis de mettre en évidence, dans le scénario d'utilisation du Vélo'V actuellement, la phase du cycle de vie la plus impactante. En effet, Figure 5 montre l'extraction des matières premières (*raw material*) comme la phase la plus impactante du cycle de vie avec plus de 50% des impacts. C'est cette deuxième évaluation qui a amené la construction des différentes stratégies de conception car les nouveaux scénarios

sont principalement axés sur la diminution du nombre de vélos produit pour le bon fonctionnement du système.

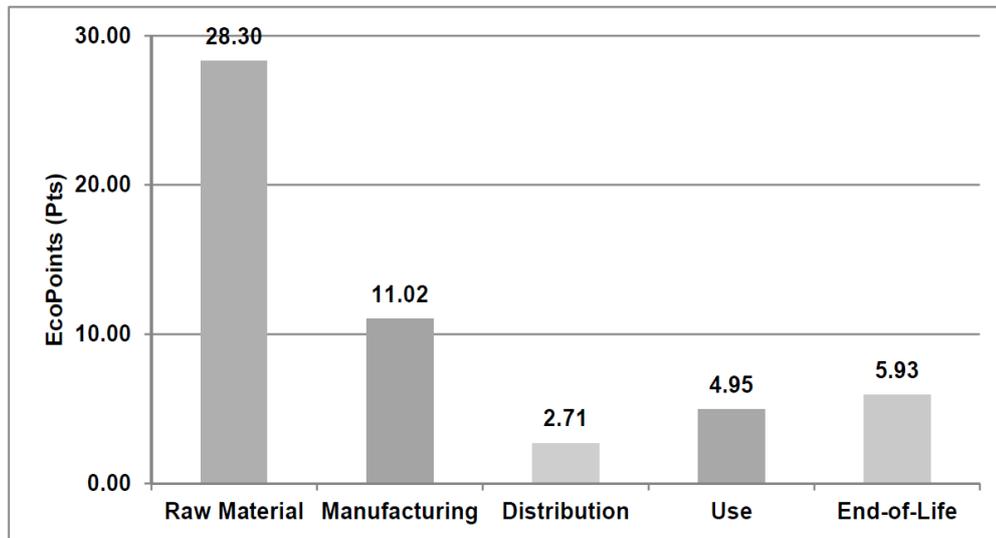


Figure 5 : Impact environnementale des phases du cycle de vie du Velo'V avec la méthode Eco-Indicator 99 (Amaya et al., 2014)

Shih et al. (2009) ont aussi mobilisé le score unique proposé par *Eco-Indicator 99* pour comparer l'impact environnemental de deux scénarios d'un système de balai de nettoyage (vente « classique » et offre PSS). Les résultats montrent que le gain environnemental est de l'ordre de 70% en faveur de l'offre PSS. Une analyse du cycle de vie a montré que l'essentiel de l'impact du scénario de vente « classique » est dû aux matériaux et notamment à l'utilisation de pesticides dans les plantations. C'est le fait de passer en offre PSS et de mettre en place une filière de culture sans pesticides qui permet de diviser par trois l'impact environnemental. Au-delà du score unique, l'identification du poste des pesticides comme le plus impactant est déduit de l'évaluation réalisée au préalable pas des indicateurs selon la même méthode *Eco-Indicator 99*. Ces indicateurs permettent d'avoir une évaluation plus exhaustive du système étudié tout en complexifiant leur compréhension et leur appréhension par des non-experts, que peuvent être les concepteurs par exemple.

L'utilisation de ces indicateurs permet d'identifier le phénomène de transfert d'impact qui pourrait intervenir entre deux scénarios. Dans l'étude réalisée par Lelah et al. (2011), la mise en place d'un PSS dans le but de réduire les tournées de véhicules de collecte du verre et donc les consommations de

carburant a engendré un transfert d'impact notamment dû à la mise en place de technologies de l'information et de la communication comme le montre la Figure 6.

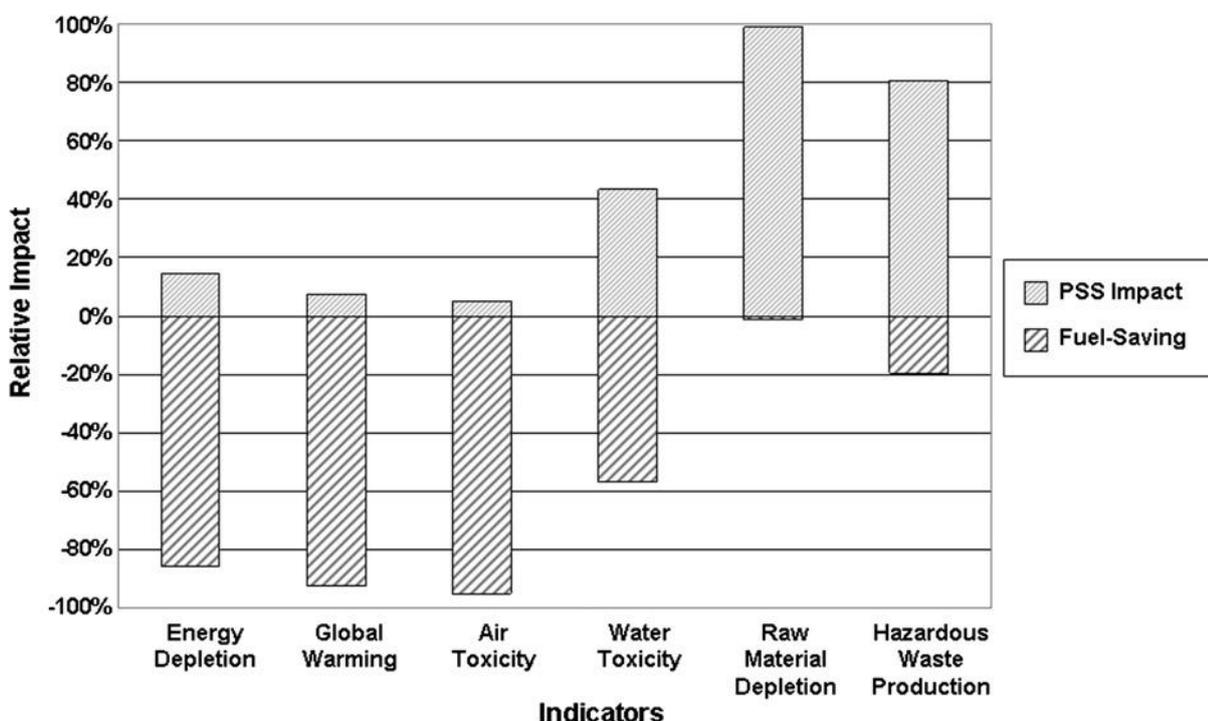


Figure 6 : Pourcentage de l'impact environnemental de l'économie de carburant et du PSS (Lelah et al., 2011)

2.3.2. Evaluation économique des PSS

D'un point de vue de l'évaluation économique, deux types d'approches sont mobilisées : d'une part l'approche par cycle de vie qui permet d'avoir une vision des postes les plus critiques d'un point de vue économique; D'autre part l'approche par acteur, qui permet d'identifier les retombées économiques selon les différents points de vue.

L'approche cycle de vie de l'évaluation économique des PSS a souvent été traduite par l'utilisation de la méthode Life Cycle Costing (LCC) (Doualle et al., 2015). Généralement, la méthode LCC est divisée en cinq grandes phases : Production des matériaux, Production, Distribution, Utilisation et Fin de Vie.

Dans son étude, Lindahl et al. (2014) englobe l'ensemble des phases pour utiliser une comparaison relative des différents scénarios (à l'instar de l'évaluation environnementale de la même étude, discutée précédemment) ce qui ne correspond pas à une ou l'autre des approches mais plutôt à une approche globale de coût. Cette étude a

permis de montrer que la mise en place d'un PSS peut réduire de 37 à 90% le coût global par rapport à une offre « classique ».

2.3.3. Evaluation sociale des PSS

L'évaluation sociale a reçu très peu d'attention dans la littérature scientifique dans le domaine des PSS, comme dans le domaine du Développement Durable (Chou et al., 2014; Halme et al., 2006). Halme et al. (2006) considèrent même que c'est une des raisons qui ne permet pas aujourd'hui de rencontrer le succès espéré. La dimension sociale du Développement Durable est l'une des dimensions les plus difficiles à évaluer pour de multiples raisons. Le producteur doit être capable de renforcer la coopération avec le client du fait de sa plus grande responsabilité envers le produit. Par ailleurs, l'évaluation sociale a pour ambition d'évaluer cette relation mais aussi la relation avec les autres parties prenantes que sont les employés, les communautés locales, et les fournisseurs (Omann, 2007). La difficulté réside donc dans l'évaluation de ces relations, une relation ne pouvant pas s'évaluer de façon quantitative comme pourraient l'être des coûts de production ou des flux de matière (Doualle et al., 2015).

Toutefois, quelques études ont permis l'émergence de la dimension sociale à travers la soutenabilité dans ses trois dimensions. Omann (2007) a introduit certaines catégories sociales (*gender, opportunities, health* et *justice*) et fournit une évaluation sur la base d'un questionnaire permettant d'identifier l'impact du passage d'une offre de vente « classique » à une offre PSS. Le questionnaire est ensuite traduit en un score au regard de ces catégories, qui sont finalement agrégées, via une pondération, pour obtenir un score unique. Cette méthode d'utilisation de score unique se basant sur des données quantitatives est aussi utilisée par d'autres études. Abramovici et al. (2014) utilise également cette méthode en évaluant la catégorie *job opportunities* grâce au nombre d'heures de travail supplémentaire nécessaires au fonctionnement de l'offre PSS. Cependant, il est parfois difficile d'appréhender de telles estimations pour les décideurs, il a donc été nécessaire d'y ajouter un indicateur de qualité de données afin de prendre en compte la subjectivité de ces indicateurs. Cet indicateur a pu mettre en lumière l'utilisation de données de faible qualité dans 3 des 4 catégories de la dimension sociale, faible qualité signifiant que la donnée provient d'une base de données ouverte et/ou qu'elle n'est pas spécifique au système analysé (Abramovici et al., 2014).

L'évaluation sociale d'un PSS est encore aujourd'hui un domaine montrant encore de vraies lacunes dues à la grande subjectivité et à l'incertitude de l'aspect social issus d'une

évaluation qualitative. Bien que certaines études aient permis de traduire l'impact social des PSS au travers d'indicateurs, il reste encore difficile de les agréger et de les caractériser à travers des facteurs prédéfinis (Doualle et al., 2015).

2.3.4. Evaluation de la soutenabilité des PSS

Après avoir étudié les piliers du Développement Durable de façon isolée, il convient de s'intéresser aux tentatives d'évaluation de la soutenabilité dans son aspect complexe et hétérogène. Les problématiques de l'« effet rebond » d'une part, qui résulte d'une aggravation globale de l'impact du système due à une amélioration locale, et du transfert d'impact d'autre part, qui est la dégradation de l'impact d'un critère dû à la mise en place d'une solution pour en améliorer un autre, ne peuvent être identifiées et résolues que par une vision globale de la soutenabilité et non plus par l'isolation des différents piliers.

Partidário et al. (2007) par exemple, ont identifié dans leur étude sur la mise en place d'un service intégré de distribution de nourriture que cela engendrait une réduction significative de consommation d'énergie mais que cela augmentait d'autre part la consommation de matière première et la production de déchet. De plus, cela éloignait les personnes âgées du contact social ce qui n'est pas profitable pour le maintien d'une vie sociale la plus riche possible.

Halme et al. (2006) proposent un cadre d'évaluation de la soutenabilité reprenant les 3 dimensions et développent chacun d'eux en indicateurs recensés dans le Tableau 3. Cela a permis de mettre en avant que le bénéfice social est nettement supérieur aux bénéfices économiques et environnementaux et la dimension sociale ne devrait donc pas être négligée.

Tableau 3 : Indicateurs pour la soutenabilité des services de maison (traduit de Halme et al., 2006)

Dimension Environnementale	Dimension Sociale	Dimension Economique
Utilisation de matière	Équité	Emploi
Consommation d'énergie	Santé	Situation économique des résidents
Consommation d'eau	Hygiène et sécurité	Produits et utilisation des services régionaux
Déchets	Confort	Profit pour l'entreprise
Utilisation de l'espace	Vie sociale	Profit pour la communauté locale
Emissions	Gouvernance	
	Information et sensibilisation	

Abramovici et al. (2014) mobilisèrent une approche égalitaire de la soutenabilité à l'aide du concept de score unique résultant d'une équi-pondération des trois piliers du Développement Durable en y ajoutant un critère de « Performance spécifique du PSS ». Cela peut conduire à un risque de mauvaise interprétation. Par exemple, se basant sur son échelle de 1 à 5, cela peut amener les décideurs à dégrader le score de la catégorie sociale ou environnementale pour un gain sur la catégorie économique. De façon plus concrète, la dégradation du pourcentage de pièces recyclables peut être compensée par une amélioration de la formation ou la réduction des émissions de CO₂. Ceci étant en contradiction avec le principe de Développement Durable et de la non-commensurabilité des trois piliers.

Cependant, la problématique de l'évaluation dans le processus de conception n'est pas abordée dans ces études. En effet, les évaluations réalisées dans ces études sont présentées comme déconnectées du processus de conception. Le projet « Methodology for PSS » (MEPSS) a permis de développer des méthodologies dans les différents domaines nécessaires à la conception, la mise en œuvre et le suivi des PSS. Il a pour but d'accompagner la transition vers le modèle de PSS en le rendant le plus soutenable possible (Vezzoli et al., 2014).

Ces études ont permis de fournir une base à l'évaluation de la soutenabilité des PSS afin d'en identifier l'avancée scientifique mais aussi les lacunes et verrous. Il est apparu d'une part qu'il n'existe pas de cadre de soutenabilité pour permettre d'y greffer le processus de conception. Il apparaît que le champ de l'évaluation de la soutenabilité ne peut pas être réduit à un critère unique sous peine de réduire indéniablement le concept associé, l'évaluation de la soutenabilité ne peut pas non plus mettre les dimensions et les

catégories associées sur un même pied d'égalité où une dégradation serait compensée par une amélioration de façon systématique. Se pose alors la question de la prise de décision dans de tels cas, où il faut comparer et conclure alors que les catégories ne vont pas toutes dans la même direction, que les acteurs n'ont pas tous la même vision de la soutenabilité.

3. La problématique de la prise de décision en conception

Une décision humaine est issue d'un processus basé sur des informations partielles, imprécises ou incomplètes ce qui amène donc toute décision à ne pouvoir être parfaite mais limitée.

L'aide à la décision, est définie comme :

«[...] l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part » (Roy, 1985)

Le processus d'aide à la décision nécessite l'identification de deux rôles :

D'une part, le décideur : **« Le décideur est l'entité intervenant dans le processus de décision que les modèles mis en œuvre cherchent à éclairer, c'est l'entité pour le nom de qui, ou au compte de qui, l'aide à la décision s'exerce. »**

D'autre part, l'homme d'étude : **« l'homme d'étude est celui qui prend en charge l'aide à la décision. Mettant en œuvre des modèles dans le cadre d'un processus de décision, il contribue à l'orienter et à la transformer. »**

Le processus de prise de décision est un processus complexe, à la fois long, compliqué et nécessitant une exploration des différentes alternatives. Il est alors nécessaire de mettre en place des méthodes capables d'aider les concepteurs dans ce processus (Alonso-Rasgado and Thompson, 2006).

Les méthodes et outils disponibles pour supporter le processus de conception et les concepteurs dans les décisions qu'ils devront prendre. Ces décisions en conception sont importantes car elles impactent directement les autres phases du cycle de vie (« Middle

of Life » et « End of Life »). Par conséquent, une attention toute particulière doit être portée sur la prise de décision lors des phases de conception (Sousa-Zomer and Miguel, 2017). Chen et al. (2015) mettent en évidence que des processus d'évaluation des PSS insuffisants conduisent à la mise en œuvre de mauvaises alternatives de conception causant des dommages qui ne pourront être compensés dans les étapes futures.

Pour juger et évaluer les différentes alternatives, le décideur et l'homme d'étude doivent mobiliser la notion de critères afin de pouvoir les évaluer et de les aider dans leur processus de décision. Les critères sont un moyen de d'évaluer les alternatives, ils sont la représentation formelle à travers des fonctions à valeurs réelles.

Le critère peut être défini comme une fonction définie sur l'ensemble des alternatives qui prend ses valeurs dans un ensemble ordonné qui représente les préférences du décideur selon un point de vue. L'aide à la décision et la notion de critère sont d'autant plus utiles que le problème doit en prendre plusieurs en considération et qu'ils sont potentiellement contradictoires. Cela nécessite alors de mobiliser les méthodes d'analyse multicritère.

L'analyse multicritère est principalement utilisée pour fournir aux décideurs des outils leur permettant de progresser dans la résolution de problèmes décisionnels faisant intervenir plusieurs points de vue, même s'ils sont contradictoires. Pour pouvoir être conduite, l'analyse multicritère nécessite de disposer d'un ensemble d'actions ou variantes en compétition. Pour ces actions l'analyse va successivement bâtir :

- une famille de critères, permettant de juger ces actions,
- un tableau de performance des actions par critère,
- une agrégation des résultats aboutissant à un classement par préférence.

Les méthodes d'analyse multicritère permettent de trouver une solution dans des situations complexes tout en appliquant une méthode compréhensible et rationnelle. De plus, les méthodes d'analyse multicritère peuvent également servir comme outil de négociation lors de débats entre acteurs.

Les méthodes d'analyse multicritère peuvent se regrouper en quatre classes distinctes :

- **Les méthodes sans compensation** : ces méthodes se basent sur une hiérarchisation des critères avec un seuil binaire pour chaque critère. Lors de l'évaluation des actions, les critères seront évalués du plus important au moins important et l'action sera exclue dès lors qu'elle ne dépasse pas le seuil d'acceptation pour le critère, si elle le fait, l'action est évaluée selon le critère suivant et ainsi de suite.

Par exemple, les premières phases d'évaluation des réponses aux appels d'offres de la Commission européenne utilisent cette catégorie de méthodes : critère d'exclusion, puis critère de sélection, etc.

- **Les méthodes avec agrégation complète :** Dans les méthodes par agrégation complète, un score unique permet de représenter l'agrégation de tous les critères. Ceci implique que les critères soient tous mesurables et que les préférences soient mathématiquement rationnelles. Dans cette classe d'analyses multicritère, les compensations entre les critères peuvent se faire et toutes les variantes sont comparables entre elles. Elle s'applique généralement aux situations simples et circonscrites.

Les méthodes : moyenne pondérée, Utilité Additives (UTA), Goal Programming, Analytic Hierarchy Process (AHP) et Multi Attribute Utility Theory (MAUT) font partie de cette catégorie.

- **Les méthodes avec agrégation partielle :** Les méthodes par agrégation partielle se distinguent par la prise en compte de situations d'incomparabilité à l'aide d'un système de préférence. L'analyse est réalisée par des comparaisons des actions basées sur un indice de surclassement. Ces méthodes présentent l'avantage de pouvoir comparer des situations complexes, naturellement incomparables en incluant des critères de natures très différentes (objectifs et subjectifs).

C'est dans cette classe que se trouvent les méthodes comme Electre, Prométhée, Oreste, Macbeth etc.

- **Les méthodes avec agrégation locale :** La particularité des méthodes par agrégation locale repose sur un caractère itératif, basé sur les préférences du décideur. Ce type de méthode sélectionne une variante, élabore une proposition de quelques alternatives puis reprend l'analyse en boucle. Ces approches ne mettent en jeu qu'un petit nombre d'actions et nécessitent une grande implication des décideurs.

Parmi ces méthodes figurent la programmation linéaire multiple, PREFCALC, UTA interactive, etc.

La mise en œuvre d'une analyse multicritère nécessite de passer par différentes étapes :

1. Le choix du domaine d'application et de la logique d'intervention
2. La sélection des membres du groupe de jugement et de l'équipe technique
3. Choix des alternatives (actions) à comparer
4. Choix des critères d'évaluation
5. Détermination des pondérations de chaque critère

6. Evaluation par critère
7. Agrégation des évaluations

Bernard Roy (1985) complète la définition proposée par le fait que :

« [...] l'aide à la décision contribue à construire, à asseoir et à faire partager des convictions. Ce sur quoi et ce par quoi s'élabore la décision doivent pouvoir faire l'objet d'une discussion critique. »

Cette phrase résume au-delà de l'aide à la décision, l'état d'esprit de ce travail de thèse. Il n'a pas la prétention d'apporter une réponse immuable mais plutôt de nourrir la réflexion des décideurs en faveur de l'intégration du développement durable.

4. Conclusion du chapitre 2

Ce chapitre a permis de mieux cerner l'activité de conception notamment son périmètre et son déroulement, il a notamment permis par l'étude de l'éco-conception de confirmer le changement de paradigme nécessaire pour répondre aux défis de la soutenabilité via les PSS.

Des modèles dédiés à la conception de PSS existent et leur analyse permet de dresser les spécifications de la méthode d'évaluation ainsi que les pistes d'intégration de cette méthode au sein du processus de conception.

Enfin l'intégration de la soutenabilité au sein de ce processus de conception ne pourra se faire qu'au moyen de méthodes pouvant permettre la prise en compte de la complexité du concept de développement durable, qui peut être réalisée par la mobilisation des méthodes d'analyse multicritère. Ces méthodes doivent être alimentées par une évaluation de la soutenabilité qui soit en accord avec les spécificités de l'analyse multicritère.

Par ailleurs, ce chapitre permet d'identifier deux verrous qu'il est nécessaire de lever et qui peuvent-être formaliser en posant les questions suivantes :

- **VERROU 1 : Quelle aide à la décision pour la conception de PSS soutenable ?**

En effet, comme décrit dans ce chapitre, l'activité de conception nécessite que les acteurs impliqués fassent des choix consistant à abandonner certaines alternatives car non satisfaisantes au regard des différents indicateurs considérés. Or, L'ensemble des acteurs de la conception de PSS ne disposent pas d'une vision univoque vis-à-vis des

indicateurs et des méthodes doivent être mises en place pour exprimer et représenter leurs points de vue. Les indicateurs de soutenabilité sont, à l'image du Développement Durable, très hétérogènes car ils recouvrent différents domaines.

Il est alors nécessaire de pouvoir mettre en place une analyse multicritère pertinente et fiable afin que les résultats puissent être exploités mais sans que cela n'amène une dégradation de la qualité de l'information transmise afin de traduire le plus fidèlement possible les points de vue des différents acteurs de la conception.

Ces points de vue serviront de base à la discussion entre les différents acteurs pour qu'ils puissent prendre une décision à la lumière de ces différents points de vue. Les décisions prises peuvent alors être de différents types : rejet unanime, rejet partiel, acceptation unanime. En cas de rejet partiel, comment prendre en compte cette décision et permettre une conciliation des différents acteurs de la conception pour que puisse aboutir, si elle existe, une offre de PSS soutenable.

- **VERROU 2 : Comment évaluer des PSS ayant des degrés de servicisation différents ?**

Les offres PSS sont composées d'éléments de solution très hétérogènes, notamment du fait du couplage entre des facteurs de diversités issues des dimensions matérielles de l'offre correspondant à l'aspect 'produit', et d'autres facteurs de variété issues des dimensions immatérielles correspondant à l'aspect 'service'. Les produits et les services ayant des caractéristiques différentes, la méthode développée devra prendre en compte cette spécificité en adaptant le dispositif d'évaluation de sorte qu'il puisse rester cohérent en permettant une maîtrise de la notion de fonctionnalité, indépendamment de l'articulation produits/services.

Cette hétérogénéité conduit également à une variété importante de solutions à évaluer. Cela nécessite alors d'avoir un cadre d'évaluation pouvant évaluer globalement l'usage et les fonctionnalités plutôt que, de manière plus ciblée, les produits et les services.

Chapitre 3 : Développement Durable et évaluation de la soutenabilité

Ce chapitre discute dans une première partie de l'histoire du concept de développement durable, de ses premières utilisations lors de congrès internationaux aux publications majeures, qui ont permis de le mettre au centre des préoccupations pour l'ensemble des acteurs économiques : institutions mondiales, états, entreprises, consommateurs. Dans une deuxième partie, les enjeux actuels identifient les défis auxquels la soutenabilité doit faire face et comment, aujourd'hui cette soutenabilité est évaluée. Enfin, cette thèse est positionnée dans ce vaste champ d'investigation qu'est le développement durable.

1. Histoire du développement durable

Il est incontournable de commencer l'histoire du développement durable (*sustainable development*) avec sa première utilisation, dans le rapport Brundtland, et sa définition « un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (CMED, 1987).

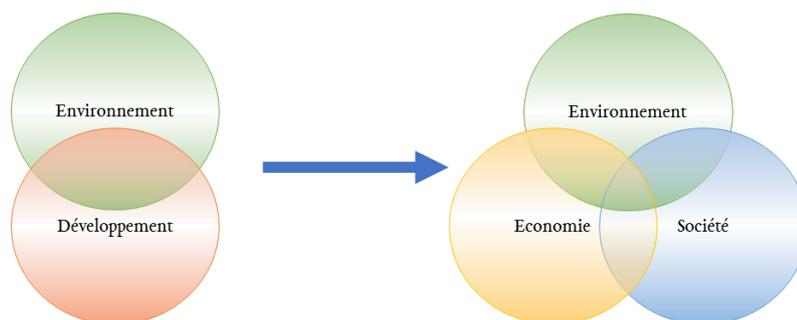


Figure 7 : Evolution du concept de développement durable (Sébastien and Brodhag, 2004)

Le Développement Durable est, comme le montre la définition originelle, un concept constitué de deux pôles : le développement et l'environnement. Ce n'est qu'une dizaine d'années plus tard que l'articulation en trois piliers s'impose entériné par le Sommet mondial sur le développement durable, schématisé dans la Figure

7 : « l'intégration des trois composantes du développement durable – le développement économique, le développement social et la protection de l'environnement, en tant que piliers interdépendants qui se renforcent mutuellement » (Johannesburg, traduction par Sébastien et Brodhag, 2004).

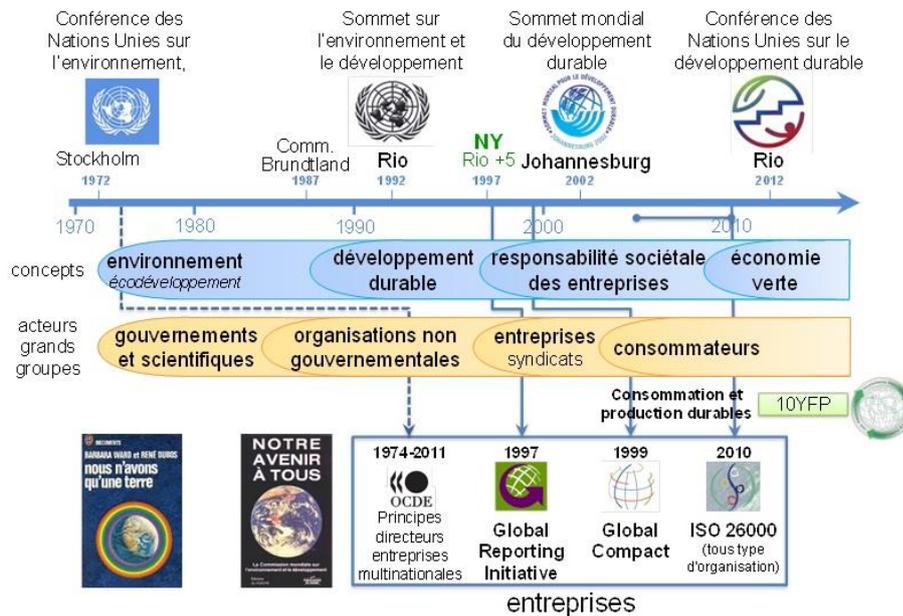


Figure 8 : Eléments clés de l'histoire du développement durable (Brodhag)

Cette évolution du concept, considéré comme « mou », s'est inévitablement accompagnée d'une appropriation par les différentes parties prenantes aux différentes échelles de la société humaine pour arriver à être aujourd'hui le concept central dirigeant l'évolution nécessaire de notre civilisation, avec des évolutions initiées par ces différentes parties prenantes, comme le montre Figure 8 (Brodhag, 2000).

Cette évolution a également vu apparaître d'autres termes pour définir le développement durable comme People, Planet, Prosperity, Triple Bottom Line ou le Global compact (Heijungs et al., 2010). Au-delà des définitions sémantiques, le développement durable et la soutenabilité nécessitent une discontinuité du système et donc une redéfinition radicale des structures de production et de consommation actuelles (Ceschin, 2013) .

2. Enjeux actuels et défis de la soutenabilité et de son évaluation

2.1. Enjeux actuels et défis

Le succès de l'appropriation de ce concept n'est pas uniquement dû à la philanthropie des entreprises, à l'humanisme des gouvernements ou à la prise de conscience des consommateurs, il intervient aussi à un moment charnière du système économique notamment pour les pays. Les pays dits « du Nord » arrivent à un plafond de développement sociétal (IDH élevé) et économique (croissance stable).

En parallèle, les pays dits « du Sud » sont en pleine croissance et ont un IDH encore au-dessous de l'objectif (0,8). Il paraît en effet, au vu des connaissances scientifiques sur l'état du monde, que les pays du BRICS, qui représente 40% de la population mondiale, ne puissent réitérer le schéma de croissance économique et de développement industriel tel qu'appliqué par l'Europe, les Etats-Unis ou le Japon. Et cela, pour différentes raisons :

1. Les ressources non-renouvelables ont pour la plupart atteint leur pic de consommation et les projections ne sont guère optimistes, et il est probable que les générations futures n'aient plus accès à des matériaux tel l'aluminium, le pétrole ou l'uranium si la société continue ainsi (Bosquet and Gorz, 1977; Domingo, 2013).
2. La pollution due aux émissions des activités humaines dans l'air, le sol et l'eau ont atteint des seuils inquiétants. Pour exemple, l'agriculture productiviste, mélange de la technoscience et de l'avidité de l'agrobusiness, est emblématique de l'accélération de cette pollution via les pesticides, les engrais chimiques notamment (Latouche, 2012a).
3. La désindustrialisation globale des pays développés vers les pays peu développés ou en développement a creusé les inégalités dans les pays développés. La population ouvrière s'est paupérisée au détriment des actionnaires de l'industrie. Cette notion est illustrée par l'augmentation des inégalités dans la quasi-totalité des BRICS et ce malgré une forte croissance ces dernières années et une diminution de la pauvreté (Porrás, 2015).
4. Le mode de consommation lié à la propriété des biens et la volonté pour le producteur de s'assurer un renouvellement de ses produits a, inévitablement, conduit à la mise en place de mécanismes assurant un remplacement des produits le plus

fréquemment possible. Des stratégies telles que l'obsolescence programmée ont donc vu le jour afin de garantir le renouvellement de l'acte d'achat (Latouche, 2012b).

Cette liste, non-exhaustive, montre l'ampleur des enjeux d'aujourd'hui soulevés par la société civile et sa prise de conscience. En cela, les institutions non-gouvernementales et les entreprises doivent aujourd'hui intégrer ses enjeux dans leur réflexion. Différents moyens¹ sont apparus afin de prendre en compte ces enjeux à différentes échelles notamment.

2.2. Leviers d'appropriation de la soutenabilité

Les enjeux et défis que doit relever le concept de développement durable nécessitent une appropriation de ce concept. Elle est par ailleurs présentée comme compétitive entre les différentes approches et traductions de ce concept. Cette appropriation compétitive peut se traduire par un verrouillage/corsetage afin de rendre le concept rigide et concret et de le déterminer de manière autoritaire (Boutaud, 2005).

Deux voies sont envisageables pour répondre à la volonté de verrouillage/corsetage (Boutaud, 2005) :

- la normalisation qui est, dans le domaine du développement durable, une voie qui a émergé avec l'ISO26000 (Loukil, 2009).
- l'évaluation via des indicateurs² qui ont permis une émergence d'outils tels que l'Analyse de Cycle de Vie.

Une autre typologie, proposée par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) (Programme, 2010; Busset, 2014) puis complétée par Busset (2014), découpe en 5 catégories les moyens d'aide à la soutenabilité :

- Les moyens analytiques : Analyse de Durabilité du Cycle de vie et Evaluation de la Durabilité
- Les moyens de gestion : Agenda 21 locaux et SD21000
- Les moyens de contrôle : Aucun moyen recensé
- Les moyens de communication : Rapport sur le Développement Durable, Indicateur de Durabilité

¹ Un moyen peut être un outil ou une méthode (Busset, 2014)

² Indicateurs : information

- Les moyens pour la rédaction de rapport : Global Reporting Initiative, Système politique

Le recensement de tous les moyens existants n'étant pas l'objectif de cette thèse, cette liste n'a pas vocation à être exhaustive. Par ailleurs, ces moyens ne sont pas destinés à tous les types de contexte ni d'échelle. Il est alors important d'identifier le bon niveau de gouvernance et d'objectif pour mobiliser le moyen le plus pertinent.

2.3. Les différents niveaux de gouvernance

D'un point de vue international, les institutions mondiales, avec l'ONU et le PNUE en tête de file, ont essayé de répandre, comme le montre la Figure 8, la notion de développement durable et mis en place des leviers afin d'intégrer cette notion au travers d' Objectifs du Développement Durable actuellement au nombre de 16. Ces objectifs ont pour but de sensibiliser les institutions gouvernementales et non-gouvernementales aux enjeux du Développement Durable et à leur permettre de traduire ces enjeux à une échelle qui leur est propre. Ainsi, l'ONU a réussi à rendre centrale cette notion pour les différents acteurs de la société civile (Heijungs et al., 2010).

Les normes internationales sont aussi des leviers mobilisés pour sensibiliser et guider les décideurs dans leur recherche de durabilité³ (par exemple SD21000 / ISO26000 / ISO14001). Ces normes sont une première façon de concrétiser les enjeux et de permettre aux décideurs de les appréhender.

Un autre moyen de relever les défis posés par cette recherche de soutenabilité a été la mise en place de labels, intégrant un ou plusieurs des piliers du Développement Durable.

Ces décideurs ont également d'autres moyens pour aider à la recherche de soutenabilité. Ces moyens , recensés par Busset (2014), peuvent être de différents ordres et ils peuvent couvrir un ou plusieurs piliers de la durabilité. On retrouve également dans cet état de l'art, les moyens évoqués plus tôt.

Les lignes directrices et la redevabilité des entreprises dans cette recherche de soutenabilité nécessitent qu'une « analyse » soit une composante de la justification rationnelle des décisions, quelle que soit l'échelle (Heijungs et al., 2010).

Dans le processus de décision, les indicateurs sont des éléments importants voir primordiaux. Cependant, l'analyse scientifique ne peut pas répondre seule à la soutenabilité des projets et ce pour plusieurs raisons (Heijungs et al., 2010) :

³ Durabilité : dans le sens du Développement durable. Synonyme : soutenabilité

- La réponse doit aussi être normative pour faire des compromis entre économie et environnement et les aspects de l'équité intergénérationnelle
- Une analyse de la soutenabilité nécessite d'autocritiquer les prophéties. Par exemple en combattant des conséquences indésirables avant qu'elles aient même une possibilité de se développer.
- Des aspects qui ont attiré à la réalité sont encore peu connus des scientifiques car ils sont issus de phénomènes complexes et nouveaux.

Cependant, les bienfaits environnementaux des nouvelles technologies des nouveaux produits peuvent être contrecarrés par l'accroissement de la consommation. Par exemple, les voitures d'aujourd'hui polluent moins que les voitures des années 70s. Les émissions ont ainsi été réduites drastiquement par kilomètre voyagé. En parallèle, le nombre de voitures dans notre société et l'intensité de leur usage a augmenté. En plus de cela, la taille et le poids moyen des voitures ont contrebalancé le développement des moteurs comme résultat au besoin de confort, sécurité et fonctionnalité. Cet exemple simple montre bien que le processus de transformation vers la soutenabilité doit prendre en compte le comportement de tous les acteurs : les producteurs et les consommateurs (Goedkoop et al., 1999).

Ce phénomène d'augmentation de la consommation qui peut contrebalancer le bénéfice tiré d'un gain par ailleurs est un phénomène assez général, souvent appelé « effet rebond ».

2.4. Evaluation de la soutenabilité

Afin d'identifier ce phénomène d'effet rebond, les moyens analytiques (d'analyse et d'évaluation) semblent être les moyens primordiaux car ils sont nécessaires aux autres, pour leur fournir des résultats. C'est pourquoi les moyens analytiques sont placés au premier rang des moyens à étudier (Busset, 2014)

Une évaluation se fait tout d'abord en fonction d'un objectif. Dès lors, il est nécessaire de choisir des critères, « élément de référence qui permet de juger, d'estimer » (Larousse, 2013), de définir quelque chose, qui seront évalués par des indicateurs, « unité d'information, quantitative ou qualitative, qui sert d'outil pour mesurer de façon approximative la manifestation d'une réalité changeante » (Botreau and Veissier, 2013). L'évaluation de la soutenabilité doit alors prendre ce cadre en compte pour pouvoir développer des méthodes d'évaluation les plus efficaces et utiles.

Une très grande majorité des méthodes disponibles se base sur la structure du Développement Durable selon les 3 piliers, décomposant ainsi l'évaluation en 3

évaluations distinctes mais complémentaires. Busset (2014) utilise cette décomposition pour l'intégrer à l'Analyse de Cycle de Vie. D'autres auteurs proposent un cadre spécifique dédié au PSS (Abramovici et al., 2014; Sousa and Miguel, 2015; Vezzoli et al., 2014).

Certains cadres d'évaluation proposent des approches complémentaires à celle-ci en proposant d'autres piliers comme les piliers « politique » et « territorial » utilisés par (Allais, 2015; Figuière and Rocca, 2008).

D'autres cadres approchent la soutenabilité de façon différente. Le cadre de la RSE notamment propose 7 piliers (appelés « question centrale ») tels que : « la gouvernance de l'organisation », « les Droits de l'Homme », « Les relations et conditions de travail », « l'environnement », « la loyauté des pratiques », « les questions relatives aux consommateurs » et « les communautés et le développement local » (ISO, 2010).

Les Nations unies proposent, eux, d'accès la soutenabilité au travers de 16 Objectifs du Développement Durable, rassemblé dans le Tableau 4 (Sachs, 2012).

Tableau 4 : Objectifs du Développement durable

Objectifs du Développement durable			
Pas de pauvreté	égalité entre les sexes	industrie, innovation et infrastructure	mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques
Faim "zéro"	eau propre et assainissement	inégalités réduites	vie aquatique
Bonne santé et bien-être	Energie propre et d'un cout abordable	villes et communautés durables	vie terrestre
Education de qualité	travail décent et croissance économique	consommation et production responsables	paix, justice et institutions efficaces

Cette approche permet de servir de base au développement d'un moyen analytique pour la soutenabilité afin de fournir les informations pour les autres moyens d'aide à la soutenabilité. Au travers de l'évaluation de la soutenabilité, il est possible de faciliter la compréhension du concept de Développement Durable et de le traduire via des critères et indicateurs pour que les décideurs aient une vision plus concrète de ce que signifient les trois piliers une fois appliqués dans leur contexte.

Les décideurs, bénéficiant du résultat de cette évaluation, sont ceux qui utiliseront au moins les résultats ou la méthode développée. Ils sont ceux plutôt issus du monde de l'économie réelle, celle des entreprises en recherche de soutenabilité, d'innovation, celle des institutions publiques et des bureaux d'études qui les accompagnent.

C'est donc essentiellement dans un contexte industriel que se situe ce travail. Ce niveau de gouvernance correspond bien aux acteurs ciblés comme de potentiels utilisateurs. Aussi, il est important que les politiques nationales et internationales aient des moyens pour mettre en œuvre les lignes directrices mais il est tout aussi important que les acteurs économiques aient des moyens adaptés à leur échelle pour prendre en compte ces politiques et pour les appliquer.

3. Conclusion du chapitre 3

Ce chapitre a permis d'établir toute la complexité du développement durable, de sa maturité et de l'établissement que ce concept est encore en évolution. Les enjeux actuels et les défis de soutenabilité sont le diagnostic des problèmes que les PSS doit, en partie, résoudre.

Afin de régler ces problèmes, plusieurs leviers peuvent être actionnés afin de favoriser l'approbation de ce concept par différents acteurs et ce, par différents moyens. Ces moyens sont dépendants du niveau de gouvernance du contexte et de l'objectif de l'étude.

Dans le contexte de cette thèse, le moyen analytique semble le plus approprié car il permet d'être en phase avec le contexte industriel et il permet une meilleure intégration de la soutenabilité dans le processus de conception. Ce chapitre a par ailleurs permis d'identifier un verrou sur l'opérationnalisation du développement durable auquel ce travail de thèse apporte une contribution et qui peut être formalisé comme la question suivante :

- **VERROU 3 : Comment opérationnaliser le concept de Développement Durable en conception préliminaire de PSS ?**

Lors du chapitre précédent, il a souligné que les méthodes de conception de PSS existantes montrent un manque de considération pour les enjeux de la soutenabilité malgré leur potentiel. Les méthodes existantes évaluent principalement les offres PSS lors de la conception détaillée ou finale voire de façon *a posteriori*. Ces modes d'évaluation permettent une évaluation plus précise du système, mais réduisant par ailleurs le champ des possibilités et ne catalysant pas la recherche de solutions durables dès la conception préliminaire. Evaluer la durabilité dès les premières phases de conception fournit un levier important pour catalyser les concepteurs vers des solutions mieux adaptées.

Plus l'évaluation intervient tôt dans la conception, plus il est possible de prendre des mesures amélioratrices du système conçu et à moindre frais. Cette évaluation réalisée très tôt dans la conception doit produire un résultat pertinent et réutilisable pour les

acteurs de la conception, ce qui nécessite de prendre en compte l'environnement de ce moment de conception (niveau d'abstraction élevé, données peu précises).

Les acteurs de la conception doivent alors réussir, au travers de l'opérationnalisation de l'évaluation de la soutenabilité, à s'approprier le concept Développement Durable dans sa complexité et à prendre conscience de leur propre impact sur celui-ci, cela quel que soient leur connaissance et intérêt pour ce concept. Car les PSS impliquent une plus grande implication des acteurs du réseau de valeurs ; Ces acteurs, qu'ils soient sous-traitant, entreprise focale⁴, client ou intermédiaire, n'ont pas une vision commune du Développement Durable et de leur capacité d'action.

Ces trois premiers chapitres ont permis de définir la problématique de ce travail de thèse et d'identifier des pistes de réflexions afin d'y répondre. Ils ont également permis d'identifier des cadres, méthodes et outils, mobilisables afin de permettre d'y répondre tout en laissant un manque scientifique que ce soit en termes d'outils ou de méthodes.

Le chapitre suivant approfondit ces cadres, méthodes et outils mobilisés en justifiant leur pertinence et en décrivant de façon détaillée leur déroulement et leur apport scientifique.

⁴ Entreprise focale : entreprise qui est en interaction avec d'autres organisations en amont et en aval de ses propres opérations (Lambert, 1998)

Chapitre 4 : Bases conceptuelles et éléments de solution retenus

Ce chapitre peut être assimilé à une transition entre l'état de l'art représenté par les 3 paragraphes précédents et la proposition scientifique de ce travail de thèse présentée dans la partie suivante. Il s'agit de synthétiser les éléments de la littérature retenus pour construire la méthode et d'en expliciter les principales méthodes.

Pour rappel, les grandes spécifications de la méthode d'évaluation environnementale de PSS retenues sont :

- Elle s'insère pendant le processus de conception. Il est donc primordial de l'ancrer dans le processus de développement de produit (2.4.1) et de l'intégrer dans une méthode de génération d'idées (2.4.2) et de la supporter dans un modèle de PSS (2.4.3).
- Elle évalue en rapport à des critères de soutenabilité (2.4.4) et fournit une aide à la décision (2.4.5).

1. Phases de conception de PSS

Le périmètre de cette thèse étant limité au champ de l'évaluation avec pour objectif de l'intégrer dans la conception, le développement d'une nouvelle méthode de conception n'en fait pas partie. Il est toutefois nécessaire d'avoir le processus de conception comme fil conducteur afin d'assurer la meilleure intégration possible de la méthode d'évaluation de la soutenabilité.

Le chapitre 3 a permis d'identifier les différentes approches existant dans la littérature scientifique dédiée aux différentes phases de conception. Ces phases de conception ont été développées bien au-delà du cadre des PSS mais leur application à ce contexte particulier semble cohérente car elles sont issues de Ingénierie Système or, il a été démontré précédemment que le PSS est avant tout un système.

Le cadre proposé par Cavalieri and Pezzotta (2012) et notamment la partie du « Début de Vie », qui représente les phases de conception, peut ainsi permettre de fournir une structure pertinente pour y intégrer ensuite les bases conceptuelles nécessaires au développement de la méthode d'évaluation de la soutenabilité.

Tableau 5 : Phases de la conception d'un PSS (Extrait du tableau 2)

Période	Phases	Numéro
Début de Vie	Génération des besoins	1
	Identification des besoins	2
	Analyse des besoins	3
	Génération d'idées et évaluation	4
	Développement des concepts et évaluation	5
	Concrétisation de la conception et évaluation	6
	Conception détaillée	7
	Test (prototype/simulation)	8
	Conception finale	9
	Mise en œuvre et mesure	10

Ce Tableau 5 rappelle la structuration des différentes phases de la conception. Au sein de cette première période, les phases peuvent être regroupées en différentes classes selon des objectifs bien distincts :

- La classe des Besoins (de la Génération des besoins (1) à l'Analyse des besoins (3)) : l'objectif est ici de définir les besoins du client de la façon la plus précise afin de pouvoir mettre en œuvre le système qui pourrait y répondre le plus efficacement possible.
- La classe de maturation des idées (de la génération d'idées (4) à la concrétisation de la conception (6)) : ce sont les premières étapes où l'on peut à proprement parler de conception. La marge de conception est ici totale, et le potentiel de réduction des impacts est maximal. En revanche, la connaissance du système est ici très restreinte.
- La classe de la finalisation et de la mise en œuvre (de la conception détaillée (7) à la mise en œuvre (10)) : On est dans les dernières étapes de la conception, il est donc plus difficile et coûteux (en argent, en temps et en main d'œuvre). A l'inverse de la classe précédente, la connaissance du système est ici plus complète.

En analysant les objectifs de ces classes, il en est déduit qu'il est impossible dans le cadre d'un travail de thèse de développer une méthode d'évaluation de la soutenabilité pouvant intégrer l'ensemble des objectifs tout en proposant un cadre rigoureux d'évaluation. Il

est alors nécessaire d'identifier les moments de la conception où le développement de l'évaluation de la soutenabilité apportera une réelle plus-value pour les décideurs.

Durant les phases situées dans la classe des besoins (1 à 3), l'objectif principal est de définir les besoins du client. Ces besoins pourraient être évalués au regard de la soutenabilité, ce qui pourrait permettre aux décideurs d'avoir une vision de la soutenabilité des besoins du client et notamment les points critiques sur lesquels il serait pertinent d'avoir une attention toute particulière. Mais cette évaluation ne permettrait pas de fournir aux décideurs des informations sur le système qu'ils sont en train de concevoir. Les informations ainsi fournies évaluent l'impact sur la soutenabilité de la problématique du client et non pas de la solution apportée qui, dans notre cas, serait une offre PSS. Enfin, les informations disponibles à ce niveau sur la/les alternatives de PSS sont inexistantes et baser une évaluation sur celles-ci paraît alors inefficace.

A l'inverse durant les phases de la finalisation et de la mise en œuvre (7 à 10), l'objectif est d'ajuster de façon précise et détaillée la/les alternatives afin de les mettre en œuvre. La solution retenue est quasiment actée, il reste à faire les tests de simulation et de prototypage pour les derniers réglages techniques avant la mise en œuvre du système. Les informations à disposition sont donc légions et fiables, souvent basées sur des mesures mais la marge de manœuvre est fortement restreinte et l'évaluation ne servirait qu'à confirmer/infirmier l'impact sur la soutenabilité des solutions retenues et développées. Il est aussi intéressant de voir l'impact sur la soutenabilité lors de ces étapes pour permettre aux fournisseurs de pouvoir communiquer sur la soutenabilité de leur solution ou pour avoir une vision globale de l'impact afin de faire un retour d'expérience aux concepteurs en vue d'une nouvelle version du système.

La classe de maturation des idées (4 à 6) se situe entre les deux classes précédentes, ce qui signifie que l'on a : d'une part un champ des possibles ouvert car aucune solution n'est retenue d'office et d'autre part, des informations qui ne sont ni trop parcellaires, ni trop précises. L'évaluation de la soutenabilité peut fournir aux concepteurs une base solide pour prendre leurs décisions de conception au travers d'informations concrètes sur les choix qu'ils ont pu faire au préalable. Ce qui, le cas échéant, leur permet de revenir en arrière sans avoir mobilisé une quantité non-négligeable de moyens techniques, financiers et humains.

Cette analyse semble partagée par Cavalieri et Pezzotta (2012) car les trois phases comprises dans la classe de maturation des idées incluent la nécessité de réaliser une évaluation, nécessité qu'ils ne font apparaître dans aucune autre phase. Certes, ils ne parlent pas à proprement parler d'évaluation de soutenabilité mais cela renforce le sentiment que ces phases sont des points de convergence nécessaires avant de diverger de nouveau dans le champ des possibles.

Une fois délimitées les limites des phases de conception dans lequel ce travail de thèse s'inscrit, il faut définir les trois phases qui servent de structure au développement de la méthode. Ceci dans le but de bien saisir les enjeux et objectifs de chacune d'entre elles pour permettre à la méthode de pouvoir fournir les informations les plus pertinentes et utiles possibles.

La phase « Génération d'idées et évaluation » (4) est une phase qui va permettre de traduire les besoins du client en les traduisant en fonctions (ou fonctionnalités) nécessaires au bon fonctionnement du système et à la satisfaction des besoins du client. Cette phase va nécessairement développer un ou plusieurs scénarios.

La phase « Développement de concepts et évaluation » (5) est la phase qui va permettre de transformer les fonctions en éléments du PSS, à savoir produits ou services (ou processus). C'est majoritairement lors de cette période que le type de PSS, présenté dans le chapitre 2, sera défini. Cette phase va se nourrir des scénarios développés à l'étape précédente et va poursuivre l'investigation sur tout ou partie de ces scénarios

La phase « Concrétisation de la conception et évaluation » (6) va ensuite traduire les produits et services des scénarios précédents en activités qui vont structurer de façon concrète le PSS. Activités de production de modules ou de sous-ensembles pour le produit et activités de service pour le service. A l'image de la phase précédente, les scénarios vont de nouveau être investigués pour tout ou partie.

A travers ces descriptions, l'évolution des différents scénarios partant des besoins pour arriver à l'architecture structurelle est bien visible. La notion de convergence à des moments clés de la conception se fait ressentir dès lors qu'une phase est terminée ceci afin de permettre de recentrer les idées et de mettre de côté celles qui ne semblent pas être les plus pertinentes.

Les objectifs de chaque phase sont différents et il convient donc de différencier également l'évaluation qui sera développée pour qu'elle puisse répondre aux besoins et qu'elle n'ait besoin de mobiliser que les informations disponibles lors de son déroulement.

Enfin, ces trois phases mobilisent des niveaux d'abstraction propres à chacune d'entre elles. La première phase se structure autour du besoin du client, la deuxième autour de la fonctionnalité et la troisième autour de l'architecture structurelle. Le processus de conception réel n'est bien sûr ici pas linéaire de phase en phase ; il zigzague entre elles. En conséquence, les modèles de ces différentes phases doivent être connectés pour supporter ce zigzaging.

2. Système de support pour la génération d'idées

Une fois le cadre d'évaluation identifié, un point d'entrée doit pouvoir être établi avec la conception afin de pouvoir l'intégrer. Pour cela, une méthode de conception devra s'extraire de la subjectivité des acteurs et leur permettre de se concentrer sur leur expertise de métier en proposant un mécanisme d'intégration automatique. Il a été discuté précédemment de la nécessité d'intégrer la soutenabilité le plus tôt possible dans la conception. L'analyse du processus de conception dans la première partie de ce chapitre a mis en lumière la pertinence d'une intégration lors de la phase de génération d'idées.

La phase de génération d'idées permet grâce à l'interprétation des besoins du client et au support de ces générations d'idées de générer des concepts de PSS prometteurs. Le Système de support pour la génération d'idées développé par Kim et al. (2012) répond aux caractéristiques nécessaires à cette intégration de l'évaluation de la soutenabilité. La procédure est aussi composée de 4 outils et d'une procédure : (a) une table de besoins génériques, (b) une table de service de PSS, (c) une matrice de support pour la génération d'idées de PSS et (d) un PSS casebook. L'ensemble de ces outils ont été développés par une analyse en profondeur de 118 études de cas de PSS existants (Kim et al., 2012).

La procédure est composée de trois étapes : (I) l'identification des besoins génériques, (II) la consultation de la base de connaissances des PSS existants (III) la génération d'idées de PSS, cette troisième étape étant du ressort de la conception et n'étant pas mobilisé dans ce travail de thèse, elle ne sera pas présentée.

2.1. Développement du système de support pour la génération d'idées

Identification des besoins génériques

Cette première étape a pour objectif de transformer les besoins du client en besoins génériques au moyen de la table de besoins génériques (a). Le système de support pour la génération d'idées suggère une liste de besoins génériques dans lequel chaque besoin du client sera transformé.

La liste des besoins génériques est constituée de 20 éléments, présentés dans le Tableau 6. Les besoins génériques sont répartis selon différentes étapes du cycle de vie (Achat, Utilisation, Fin de Vie). L'équipe de conception peut alors transformer les besoins du client en un ou plusieurs besoins génériques.

Tableau 6 : Table des besoins génériques (a) (traduit de Kim et al., 2012)

Etapes du cycle de vie	Besoins génériques
Achat	Prix faible à l'achat ou l'usage
	Facilité d'achat
	Information sur le cycle de vie du système
Utilisation	Fonctions variées
	Matériaux respectueux de l'environnement
	Ressources respectueuse de l'environnement
	Réduction des ressources
	Utilisation personnalisée
	Utilisation optimisée
	Meilleures performances
	Faible maintenance
	Utilisation flexible
	Utilisation longue
	Utilisation stable
	Utilisation facilitée
	Disponibilité spatiale et temporelle
	Ajout de valeur ajoutée par l'utilisation
Fin de vie	Élimination des déchets respectueuse de l'environnement
	Facilité d'élimination des déchets
	Ajout de valeur ajoutée par l'élimination des déchets

Consultation de la base de connaissance des PSS existants

Ensuite, ces besoins génériques sont liés à une table de service de PSS (b) qui représente un schéma de référence qui peut aider les concepteurs à répondre à des besoins génériques.

Cette table de référence est composée de 25 éléments, recensés dans le Tableau 7. Les services de PSS sont répartis selon 4 types de PSS : les trois types de PSS issus de la typologie de Tukker (2003) à savoir PSS orienté produit, PSS orienté usage, et PSS orienté résultat et un type de PSS « autres ».

Tableau 7 : Table des catégories de service de PSS (b) (traduit de Kim et al., 2012)

Type de PSS	Catégories de service de PSS
PSS orienté produit	Service de recyclage
	Service de maintenance
	Service de financement
	Service de diagnostique
	Service d'information
	Service de consultation
	Service d'éducation
	Service d'installation
	Service d'Agence
	Service d'essai
	Service de cycle de vie
	Solution globale
	Solution personnalisée
	Vente aux composants
	Elargissement de l'offre
PSS orienté usage	Self-service
	Partage
	Location
	Cotisation aux droits d'utilisation
PSS orienté résultat	Garantie de résultat
	Paiement à l'usage
Autres	Utilisation de ressources respectueuse de l'environnement
	Partage de profit
	Utilisation de nouvelles technologies
	Service modulaire

Ces deux tables, celle des besoins génériques (a) et celles des services de PSS (b), sont reliées entre elles par l'étude de 118 études de cas de PSS existants. Cela a permis de construire une matrice (c), appelé CGSM et consultable en ANNEXE A, qui identifie les études de cas ayant utilisées chaque service de PSS pour répondre à chaque besoin générique.

Une fois les PSS existants correspondant aux problématiques du contexte de la conception identifiés, les concepteurs sont invités à les consulter dans le détail à l'aide

du PSS casebook (d). Le PSS casebook (en coréen) et une description de chaque cas (en anglais) sont accessibles sur simple demande auprès de leurs auteurs.

3. Modèle de hiérarchie fonctionnelle

Cette décomposition selon le niveau d'abstraction est un modèle utilisé par différents auteurs afin de modéliser le PSS et ainsi permettre d'en avoir une vision claire et synthétique. Mais au-delà de la simple représentation, ce modèle permet d'identifier les relations hiérarchiques qui interviennent au sein d'un PSS qui permettent de séparer un système en trois niveaux principaux (Van Ostaeyen et al., 2013) :

- Le niveau des besoins client qui est le plus haut niveau d'abstraction et qui représente la décomposition de l'Objectif global en besoins qui représentent ce que le client attend du système.
- Le niveau fonctionnel qui représente la relation d'autorité du « Comment » avec le besoin. A l'inverse, la relation d'autorité « Pourquoi » permet de remonter du niveau fonctionnel au niveau des besoins client. Ce niveau peut contenir, si besoin, différents niveaux intermédiaires permettant de décomposer les fonctions en sous-fonctions.
- Le troisième et dernier niveau d'abstraction représente le niveau structurel, qui configure les éléments structurels de la solution. Chaque élément structurel peut être un produit, un service ou un processus. Le niveau structurel peut lui aussi contenir des niveaux intermédiaires. Le lien hiérarchique sera alors un lien de décomposition en sous-parties ou d'agrégation selon le sens de lecture. Ce qui signifie que chaque élément inférieur est considéré comme une partie de l'élément parent.

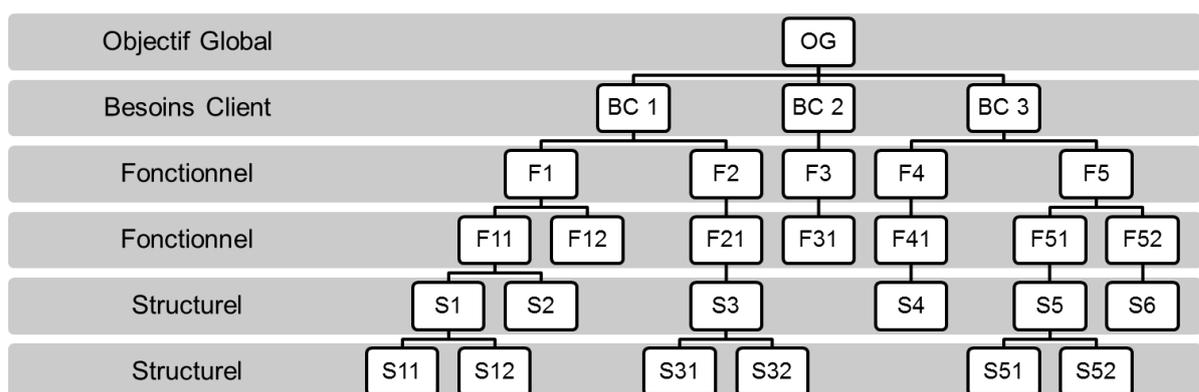


Figure 9 : Représentation partiel du modèle de Hiérarchie Fonctionnel (inspiré de Van Ostaeyen et al., 2013)

La construction de ce Functional Hierarchy Modelling (FHM) se déroule en plusieurs étapes :

1. **Détermination du périmètre de l'analyse** : Définition de l'Objectif Global et du type de client visé.
2. **Identification des besoins client** : Décomposition de l'Objectif Global en besoins client
3. **Construction de la chaîne téléologique** : Construction des liens entre les éléments structurels du système et l'Objectif Global.
4. **Finalisation du modèle hiérarchique** : Remplissage du modèle avec toutes les fonctions et les éléments structurels.

Les étapes 1 et 2 font écho aux phases de la conception identifiées comme une base conceptuelle de la méthode. En effet, l'étape 1 de la construction du FHM correspond à l'objectif de la classe des besoins (phases 1 à 3) qui est de définir le contexte, d'identifier le besoin et de l'analyser. Ce qui amène à l'étape 2 du FHM qui est de faire le lien entre l'objectif et les besoins client.

De même, les étapes 3 et 4 correspondent par analogie aux phases 4 et 5 de la conception, car il convient lors de celles-ci de décomposer le scénario en une arborescence Besoins client – Fonction – élément qui représente dans le FHM une chaîne téléologique

Cela renforce d'autant plus l'utilisation de ce modèle et facilite sa mise en œuvre car les liens entre la conception et sa modélisation fonctionnelle existent déjà.

Ces modèles permettent de modéliser les scénarios du point de vue fonctionnel, de pouvoir avoir une vue globale du système étudié répondant aux besoins client. Mais, il est possible que les organisations proposées ne soient pas nécessairement optimales. Dans ce cas, certains grands principes ont été identifiés pour améliorer le système (Van Ostaeyen et al., 2013) :

Des éléments structurels peuvent être remplacés par des alternatives plus efficaces

De même, des fonctions peuvent être remplacées par d'autres fonctions plus efficaces.

Partant d'une situation initiale, des fonctions ou des éléments structurels peuvent gagner en efficacité en étant respectivement associés à d'autres besoins ou d'autres fonctions.

Des éléments structurels peuvent, de par leur présence dans le système, avoir un comportement involontaire (en plus du comportement volontaire dû à leur fonction). Il est parfois possible de réorienter ce comportement involontaire en un comportement volontaire correspondant à une autre fonction.

4. Cadre de soutenabilité

Le chapitre 3 a permis d'identifier le manque de consensus autour d'un cadre de soutenabilité spécifique. De plus, il a été démontré que toutes les innovations système, et plus particulièrement les PSS, ne sont pas éco-efficient. Il est alors nécessaire de mettre en place des critères et de les intégrer dans des méthodes et outils afin de favoriser la conception de systèmes les plus soutenables possibles.

Vezzoli et al. (2014) ont proposé un cadre se basant sur les trois piliers du Développement Durable (DD) qui sont recensés dans la partie gauche du Tableau 8.

Ce cadre a la prétention de proposer une vision exhaustive du développement durable. Le cadre a été mis en parallèle de l'ISO 26000 qui est le cadre de référence de la Responsabilité Sociétale des Entreprises et qui est un cadre reconnu mondialement (ISO, 2010). Ce croisement du cadre de soutenabilité et de la norme ISO 26000 est résumé par le Tableau 8. Vezzoli et al. (2014) qui sont conscient que l'utilisation des 18 enjeux de soutenabilité identifiés n'a pas la même pertinence selon le contexte de conception. Ils mettent l'accent sur l'importance, dans le processus de prise de décision qu'est la conception, de l'identification des enjeux prioritaires : les enjeux sélectionnés devront être les plus pertinents au regard du contexte industriel.

Il faut pour cela connaître les différents enjeux afin de les mettre le mieux possible en relation. Cette thèse propose une identification des enjeux en essayant de se soustraire à la subjectivité du décideur, cette proposition est décrite dans le Chapitre 6 relatif à la méthode proposée.

Tableau 8 : Croisement entre le cadre de soutenabilité et l'ISO26000 (ISO, 2010; Vezzoli et al., 2014)

Piliers du DD	Enjeux du DD pour les PSS	Paragraphe ISO 26000	Sujet et thèmes centraux de l'ISO 26000
Social	Emploi et condition de travail	6.4.4	Conditions de travail et protection sociale
	Équité et justice entre les acteurs	6.7.3	Pratiques loyales en matière de commercialisation, d'information et de contrats
	Consommation durable/responsable	6.7.5	Consommation durable
	Insertion sociale	6.3.7	Discriminations et groupes vulnérables
	Cohésion sociale	6.3.7	Discriminations et groupes vulnérables
	Intégration dans le territoire	6.8.3	Implications auprès des communautés
Economie	Compétitivité	6.6.5	Concurrence loyale
	Valeur ajoutée pour l'entreprise	6.8.7	Création de richesses et de revenus
	Valeur ajoutée pour le client	6.7	Questions relatives aux consommateurs
	Pérennisation de l'entreprise	6.8.7	Création de richesses et de revenus
	Partenariat	6.6	Loyauté des pratiques
	Macro-économie	6.8.9	Investissement dans la société
Environnement	Optimisation du cycle de vie	6.5	L'environnement
	Réduction du transport	6.5	L'environnement
	Réduction de l'utilisation des ressources	6.5.4	Utilisation durables des ressources
	Réduction des déchets/valorisation	6.5	L'environnement
	Utilisation durable des ressources	6.5.4	Utilisation durables des ressources
	Réduction de la toxicité	6.5.3	Prévention de la pollution

4.1. Pilier Social

Emploi et condition de travail

Cet enjeu ne représente pas forcément un enjeu fort pour le concepteur (en termes de marge d'amélioration) car il résulte essentiellement de choix stratégiques de l'entreprise. Cependant, c'est un moyen de sensibiliser à ces enjeux par exemple ceux liés au travail des enfants, au travail forcé, à la discrimination sur le lieu de travail.

Équité et justice entre les acteurs

Cet enjeu renforce la nécessité de mettre en place des relations justes et équitables entre les différentes parties prenantes : quelles soient sous-traitant, fournisseurs ou client ainsi qu'avec les communautés locales. Cela peut se traduire également par une équité à l'encontre des institutions locales.

Consommation durable/responsable

Il est essentiel pour une consommation durable de promouvoir un comportement durable du consommateur. Cela passe à travers la mise à disposition pour le consommateur d'informations afin de l'inciter à adopter un comportement de consommation plus responsable.

Insertion sociale

L'insertion sociale consiste à mettre en place un système favorisant l'accès aux groupes sociaux marginalisés. Par exemple, en favorisant l'accès à des personnes provenant des faibles couches sociales ou à l'introduction des étrangers dans le contexte socio-économique à travers l'offre PSS conçue.

Cohésion sociale

Favoriser la cohésion sociale représente la mise en place d'un système favorisant l'intégration sociale au sein d'un quartier, entre les générations, entre différentes cultures, par exemple en mettant en place un système de partage des biens.

Intégration dans le territoire

Cet enjeu vise à favoriser l'intégration du système au sein de l'économie locale. Cela se réalise en prenant en compte les caractéristiques locales dans la conception, en encourageant la mise en place de réseaux économiques locaux, en ayant recours aux ressources naturelles locales en priorité.

4.2. Pilier économique

Compétitivité

La mise en place d'une nouvelle offre PSS sur le marché peut permettre à l'entreprise de trouver de nouveaux marchés, de gagner en compétitivité et en visibilité. Car le PSS peut être perçu comme une stratégie forte de différenciation de la concurrence.

Valeur ajoutée pour l'entreprise

Au-delà du contrat et du système mis en place, le PSS apporte aussi d'autres valeurs ajoutées au fournisseur qu'il est nécessaire d'évaluer pour montrer le potentiel du PSS et pas seulement le bénéfice financier quantitatif. La prise de risque, la responsabilité, la flexibilité sont des valeurs ajoutées qui sont difficiles à monétariser.

Valeur ajoutée pour le client

Ces valeurs ajoutées peuvent aussi concerner le client, afin de lui montrer plus facilement que la valeur perçue va au-delà de la facture ou du contrat. Par exemple, le non-transfert de propriété est une valeur ajoutée pour le client car il n'a plus à s'intéresser aux coûts en fin de vie ou à l'amortissement économique du système.

Pérennisation de l'entreprise

Il est également nécessaire de mettre en place des indicateurs afin de montrer à l'entreprise que le passage au PSS peut lui permettre d'avoir plus de visibilité sur l'avenir de son entreprise. Que sa trésorerie n'est plus directement dépendante de ses ventes et donc elle peut faire des projections et avoir une vision à plus long terme.

Partenariat

Le PSS nécessite une réelle collaboration de tous les acteurs pour être réellement une stratégie gagnante. Le fournisseur n'est pas seulement le producteur et le vendeur, il est aussi celui qui va réaliser la maintenance, qui va récupérer le produit. Les relations entre les différents acteurs doivent alors être renforcées.

Macro-économie

Enfin, le PSS a aussi un impact sur l'économie globale, en créant des emplois locaux, en favorisant la maintenance préventive à la curative et à la consommation d'un nouveau bien. Le PSS est un changement de paradigme qui peut impacter l'économie globale et qu'il faut pouvoir évaluer.

4.3. Pilier environnement

Optimisation du cycle de vie du système

Cet enjeu a pour but de mettre en avant l'allongement de la vie du produit et d'augmenter son intensité d'usage afin de minimiser l'impact de celui-ci. Car un produit remplissant les mêmes fonctions mais ayant une vie plus longue aura un impact plus réduit sur l'environnement. Cela peut aussi amener à mettre en place des stratégies d'amélioration continue tout au long de la vie du produit pour lui permettre via une amélioration ou une maintenance préventive de durer plus longtemps.

Réduction du transport

Le transport est un des enjeux majeurs de certains systèmes car ils sont responsables d'un impact sur l'environnement non-négligeable. Il est nécessaire de repenser le transport et la logistique de façon globale pour les rendre plus durables.

Réduction de l'utilisation des ressources

L'utilisation des ressources matérielles et énergétiques doit être repensée de façon globale, tout au long du cycle de vie pour permettre de réduire l'impact environnemental du système ainsi conçu. La réduction de l'utilisation de matière permet d'éviter l'impact généré par la production mais aussi les impacts en amont de celle-ci (l'extraction, le transport, ...) et en aval (la gestion de déchets).

Réduction des déchets/valorisation

Les déchets sont une problématique aujourd'hui car leur recyclage, valorisation, réutilisation sont de plus en plus compliqués en raison de la variété de matériaux et d'alliages disponibles. La valorisation en recyclage permet un double avantage : éviter les impacts dus au traitement des déchets mais également éviter les impacts dus à la fabrication du matériau avec des ressources naturelles vierges.

Utilisation durable des ressources

En plus des impacts générés par l'utilisation des ressources naturelles, certains systèmes utilisent beaucoup plus de ressources que la nature ne peut renouveler. Cela va forcément amener à une pénurie, ce qui n'est pas durable pour la nature mais aussi pour le producteur puisqu'il devra trouver, à terme un matériau de remplacement.

Réduction de la toxicité

Enfin, la réduction de la toxicité vise à minimiser les émissions toxiques du système tout au long du cycle de vie, que ce soit pour le producteur, pour l'utilisateur, pour le recycleur ou pour la société et la nature de manière plus globale.

5. Analyse multicritère

Afin de pouvoir évaluer les différents scénarios selon les différents enjeux présentés auparavant, l'analyse multicritère est une méthode capable d'apporter des éléments d'informations pour l'aide à la décision.

Lors du choix de la méthode ou des méthodes adaptées à la prise de décision, il est nécessaire d'analyser le problème posé afin d'en identifier les caractéristiques et de sélectionner la méthode qui pourrait, basée sur ces caractéristiques, apporter une réponse au problème. Un diagramme de sélection développé pour la sélection de la méthode d'analyse multicritère la plus appropriée dans le cadre d'une ACV est proposé par Benoit and Rousseaux (2003). Ce diagramme est basé sur 5 caractéristiques :

- L'objectif de l'étude : Sélection, tri ou classement
- Typologie des critères : pseudo-critère, critères réels ou d'autres types
- Données : cardinales ou ordinales
- Pondération : Présence ou pas de pondération
- Structure hiérarchique : Présence ou non de structure hiérarchique

Ces caractéristiques font parties des conditions préalables à l'application des méthodes d'analyse multicritère qui peuvent parfois limiter leur mobilisation. S'ajoute à cela que les débats initiés par ces méthodes peuvent parfois être d'une lourdeur due à la masse d'informations fournie par celles-ci.

Les méthodes nécessitent également une disponibilité des données et de temps pour pouvoir être complètement déployées ce qui peut freiner son application. De plus, certaines méthodes d'analyse multicritère sont d'une technicité dans la détermination de leurs paramètres et elles appellent aussi à une subjectivité dans l'analyse par les décideurs.

Le diagramme de sélection contextualisée au cadre de l'ACV semble ne pas se limiter à ce cadre strict. En effet, comme nous avons pu le développer auparavant, l'ACV est semblable au problème posé par l'évaluation en conception : objectif de comparaison de scénarios via des critères multiples et hétérogènes. Il paraît alors possible de l'appliquer au contexte de ce travail de thèse.

L'objectif de la méthode proposée dans ce travail de thèse est du type « sélection », les critères utilisés sont des vrais critères, avec des données ordinales, et la présence d'une pondération entre les critères mais sans structure hiérarchique.

Cette réflexion nous amène à retenir la méthode ELECTRE I comme seule méthode adéquate. Cette étude évalue cette méthode comme une des meilleures existantes pour

la non-compensation et la praticité d'application tout en mettant sa faisabilité comme un point faible, cependant partagé avec la majorité des méthodes analysées (Benoit and Rousseaux, 2003).

5.1. La méthode ELECTRE I

La méthode ELECTRE I est une méthode proposée par Roy en 1968, elle permet de résoudre les problèmes nécessitant une sélection de la meilleure alternative (action). Pour cela, la méthode va se baser sur la relation de surclassement φ en comparant les actions par paire. Cela va permettre d'identifier deux ensembles distincts :

- L'ensemble des actions surclassées par au moins une autre action. Ce sont les actions non-satisfaisantes.
- L'ensemble des actions incomparables car surclassées par aucune autre action. Ce sont les actions satisfaisantes.

La relation de surclassement φ nécessite l'introduction des notions de concordance et de discordance. Une action surclasse une autre si un test de concordance et un test de non-discordance est validé. Le résultat de cette méthode est un noyau d'actions difficilement comparables dans lequel se trouve la meilleure action.

5.2. Développement de la méthode ELECTRE I

Cette méthode nécessite de travailler avec des valeurs ordinales, à savoir des valeurs où seules les relations « < », « > », et « = » sont possibles. Pour transformer les valeurs cardinales en ordinales, des classes d'équivalence ou une échelle de notes peuvent être utilisées.

Test de Concordance et de non-discordance

Le test de concordance sert à identifier la proportion pondérée où l'action 1 est équivalente ou préférée à l'action 2.

Admettons :

- $S = \{S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_s\}$; l'ensemble des actions
- $E = \{E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_e\}$; la famille des critères
- $g_j(s_i)$: l'évaluation de l'action s_i par rapport au critère j

- P_j : le poids du critère j

Et

- $J^+(s_i, s_k) = \{j \in E \mid g_j(s_i) > g_j(s_k)\}$: l'ensemble des critères pour lesquels l'action s_i est préférée à l'action s_k .
- $J^=(s_i, s_k) = \{j \in E \mid g_j(s_i) = g_j(s_k)\}$: l'ensemble des critères pour lesquels l'action s_i est équivalente à l'action s_k .
- $J^-(s_i, s_k) = \{j \in E \mid g_j(s_i) < g_j(s_k)\}$: l'ensemble des critères pour lesquels l'action s_k est préférée à l'action s_i .
- $P^+(s_i, s_k) = \sum P_j, j \in J^+(s_i, s_k)$: la somme des poids des critères appartenant à l'ensemble J^+ .
- $P^=(s_i, s_k) = \sum P_j, j \in J^=(s_i, s_k)$: la somme des poids des critères appartenant à l'ensemble $J^=$.
- $P^-(s_i, s_k) = \sum P_j, j \in J^-(s_i, s_k)$: la somme des poids des critères appartenant à l'ensemble J^- .

$$P = P^+(s_i, s_k) + P^=(s_i, s_k) + P^-(s_i, s_k)$$

On peut alors calculer pour chaque couple d'actions (s_i, s_k) :

L'indice de concordance C_{ik} tel que :

$$C_{ik} = \frac{P^+(s_i, s_k) + P^=(s_i, s_k)}{P}$$

L'indice de discordance D_{ik} tel que :

$$D_{ik} = \begin{cases} 0, & \text{si } J^-(s_i, s_k) = \emptyset \\ \frac{1}{\psi_j} * \text{Max} \{g_j(s_k) - g_j(s_i)\}; & j \in J^-(s_i, s_k) \end{cases}$$

Où ψ_j est l'amplitude de l'échelle associée au critère j pour lequel il existe le maximum de désaccord.

On définit alors la relation de surclassement φ tel que :

$$s_i \varphi s_k \Leftrightarrow f(x) = \begin{cases} C_{ik} \geq c & \text{(test de concordance)} \\ D_{ik} \leq d & \text{(test de non - discordance)} \end{cases}$$

Où

- c est le seuil de concordance
- d est le seuil de discordance

Les valeurs de c et d sont fixées par les utilisateurs et sont comprises entre 0 et 1. La règle suivante est toutefois préconisée :

$$0 \leq d < 0.5 < c \leq 1$$

L'ensemble des relations de surclassement permet de définir le noyau du graphe de surclasse, c'est-à-dire les actions qui ne sont surclassées par aucune autre action. Si plusieurs actions constituent le noyau, la « meilleure action » se situe dans celui-ci mais pas nécessairement la « deuxième meilleure action » (Maystre et al., 1994).

La méthode ELECTRE I est une méthode simple à mettre en place mais qui en contrepartie ne fournit qu'un résultat flou car respectant les nuances. Elle a pour objectif de proposer un cadre rationnel qui met en évidence un sous-ensemble ne contenant pas l'action potentielle à retenir. Cependant, il est important de rester vigilant sur le fait que le noyau ne contient pas les meilleures actions mais plutôt les actions qui paraissent impossibles à comparer entre elles, parmi lesquelles se situe la meilleure action.

Enfin, la détermination des seuils, notamment si ceux-ci sont peu exigeants, peut faire perdre la signification du résultat. A l'inverse, des seuils, trop exigeants renforceront la force des relations de surclassement mais appauvriront le graphe de surclassement.

6. Conclusion du Chapitre 4

Les cinq notions présentées dans ce chapitre peuvent être assimilées aux cinq piliers sur lesquels la méthode d'évaluation peut être développée.

Dans un premier temps, l'analyse des phases de conception a permis d'identifier les moments de conception où l'évaluation est la plus pertinente.

Ensuite, une méthode de conception spécifique est mobilisée pour servir de point d'entrée de l'évaluation au sein de ce processus de conception.

Puis, la hiérarchie fonctionnelle sert à étendre cette méthode à la conception de système, indépendante de la conception orientée-produit et de la conception orientée-service.

Enfin le mécanisme d'évaluation peut être développé autour d'un cadre de soutenabilité et d'une méthode d'analyse multicritère afin de traduire le concept de développement durable en une évaluation afin de fournir, à chaque acteur, des informations individualisées et précieuses pour la mise en place d'un système soutenable pour tous.

Conclusion de la partie I

Cette thèse a pour ambition de développer une démarche capable de guider les concepteurs dans l'évolution de leurs pratiques de conception et d'ingénierie des PSS. Cette évolution ne peut se faire que si l'évaluation sur laquelle se basent ces nouvelles méthodes de conception existe. Cette évaluation est alors elle-même confrontée à des problématiques auxquelles elle doit répondre pour remplir la problématique globale.

Les offres intégrées produits-services nécessitent des méthodes de conception spécifiques pour permettre aux industriels de mettre en œuvre ces stratégies de servicisation. Cependant, bien que leur potentiel en faveur du Développement Durable ne soit plus mis en doute à ce jour, certains auteurs ont mis en évidence que les offres intégrées produits-services n'atteignent pas ce potentiel de façon systématique. En effet, les Systèmes Produits-Services peuvent, dans certains cas, ne pas atteindre cet objectif et augmenter l'impact sur l'environnement en comparaison d'une offre classique de vente (Agrawal et al., 2012). Il est alors nécessaire de travailler à fournir toutes les informations nécessaires aux décideurs lors de la conception pour qu'ils puissent mettre sur le marché des offres intégrées Produits-Services les plus durables possible, lorsque cela est possible et de les informer de la non-durabilité de la solution, dans le cas inverse.

Pour réussir à développer ce type d'offres intégrées, il faut mettre en place des mécanismes à destination des industriels, et plus particulièrement des concepteurs pour que ceux-ci réussissent à faire évoluer leurs méthodes de conception habituelles afin de permettre de prendre en compte les spécificités et caractéristiques de ces nouvelles offres innovantes. Au-delà du simple périmètre des méthodes, c'est la culture globale de la conception qui doit changer de paradigme, pour passer d'une conception orientée produit ou orientée service à une conception qui arrive à s'extraire de cette dualité tangible/intangible en s'élevant au niveau de la fonctionnalité fournie par le produit ou le service. Des nouvelles méthodes de conception sont alors nécessaires afin de prendre en compte ce changement de paradigme, qui devra également permettre aux méthodes d'évaluation de la soutenabilité d'évoluer conjointement afin de favoriser leur intégration. Ces méthodes d'évaluation devront prendre en compte le cadre fonctionnel des nouveaux systèmes Produits-Services mais aussi le point de vue des différents acteurs pour favoriser l'intégration du réseau d'acteurs dans la conception afin d'en évaluer la soutenabilité au travers d'un cadre dédié au Systèmes Produits-Services.

L'évaluation au sein de processus de conception sert à fournir des informations complémentaires aux décideurs afin de les aider dans le travail de conception et dans les éventuels choix qu'ils ont à faire, lorsque qu'il est nécessaire d'abandonner certaines alternatives pour se concentrer sur un nombre plus restreint. Dans le cadre des PSS, ces

alternatives ont des formes structurelles hétérogènes, combinaison de produits et de services, qui nécessitent de mettre en place une méthode d'évaluation prenant en compte cette diversité.

Les enjeux soulevés par le développement durable représentent des finalités difficiles à assimiler de prime abord, et une approche plus pragmatique permet souvent d'introduire ces finalités auprès des décideurs de façon progressive et pédagogique.

Les « limites planétaires » (Steffen et al., 2015) et les « Objectifs pour un Développement Durable » (Sachs, 2012) sont des indicateurs peu accessibles pour des acteurs non sensibilisés au Développement Durable. Un jeu d'indicateurs doit alors être développé pour permettre de faire le lien entre une vision pragmatique des métiers et les finalités du Développement Durable.

Ce jeu d'indicateurs doit donc permettre aux décideurs de prendre connaissance des impacts, directs et indirects, que peuvent avoir leur choix sur la soutenabilité. Un des moyens de faciliter cette intégration est d'intégrer ces enjeux de soutenabilité le plus tôt possible dans le processus de conception afin que les décideurs puissent apercevoir l'évolution de ces enjeux en parallèle de l'évolution de la conception. Cela permet aussi que lorsque que les décideurs seront amenés à évaluer ces enjeux, ils aient déjà eu connaissance de ces enjeux et qu'ils aient eu le temps de se familiariser avec.

Cette vision pédagogique et pragmatique du Développement Durable est une difficulté supplémentaire, dans le contexte des PSS, car les décideurs sont pluriels et hétérogènes. L'offre PSS est centrée sur un réseau d'acteurs industriels ayant une vision qui leur est propre, de leur métier, de leurs compétences et de leur impact sur la soutenabilité. L'évaluation a pour but de concilier ces différents points de vue d'acteurs, qu'ils soient divergents et convergents, au regard de la soutenabilité des différentes alternatives de conception de PSS.

Cette première partie a permis d'identifier trois verrous qui structurent la méthode d'évaluation qui sera proposée lors de la partie suivante. Pour rappel, les verrous sont les suivants :

- **VERROU 1 : Quelle aide à la décision pour la conception de PSS soutenable ?**
- **VERROU 2 : Comment évaluer des PSS ayant des degrés de servicisation différents ?**
- **VERROU 3 : Comment opérationnaliser le concept de Développement Durable en conception préliminaire de PSS ?**

Ces derniers sont, naturellement, reliés aux questions de recherche et permettront, par la résolution de ces verrous, d'apporter des éléments de réponses aux questions de recherche :

Question de recherche 1: Quels sont les enjeux de la soutenabilité auxquels les PSS sont susceptibles de répondre ? (QR1)

Cette question de recherche permet de contribuer à l'analyse de la traduction du concept de Développement Durable dans le domaine des PSS et donc à faciliter la compréhension et l'opérationnalisation par les acteurs de ce domaine (**Verrou 3**). Cet état de l'art permet également d'analyser comment la littérature scientifique aborde la question de la fonctionnalité des PSS. (**Verrou 1**).

Question de recherche 2: Comment prendre en compte et concilier les différents points de vue et critères de décision envers le Développement durable inhérents à la conception de PSS ?

Le mécanisme d'évaluation à mettre au point doit prendre en compte l'implication des acteurs qui est une des caractéristiques du PSS, cela doit amener les enjeux de soutenabilité à s'opérationnaliser pour permettre aux acteurs de se les approprier plus facilement et donc faciliter la faisabilité opérationnelle de l'évaluation (**Verrou 3**). Aussi, les indicateurs manipulés doivent prendre en compte l'hétérogénéité entre composantes matérielles et immatérielles du PSS (**Verrou 1**).

La conception est un processus itératif décomposé lui-même en phases itératives et le mécanisme d'évaluation développé devra permettre d'assurer cette cohérence avec la conception et les phases qui la composent. Comment alors répartir l'évaluation au sein de ce processus de conception afin que le résultat puisse apporter, à chaque moment, des informations sur lesquelles l'équipe d'évaluation pourra s'appuyer (**Verrou 2**).

Comment intégrer la dimension multi-acteurs du PSS dans le mécanisme d'évaluation tout en rendant applicable la méthode ? L'évaluation doit permettre de nourrir cette dimension multi-acteurs et donc il faut guider les acteurs dans la compréhension et la capitalisation de ces résultats au sein de ce processus itératif de sorte que l'itération suivante, s'il y en a une, soit au moins aussi soutenable que la précédente (**Verrou 2**).

C'est une optique de cercle vertueux en faveur de la soutenabilité qui doit être mise en place afin de guider les acteurs dans la conception.

Dans le cadre de ce travail de recherche, l'évaluation dans un objectif de sélection est considérée comme un outil d'aide à la décision pour la conception de PSS durable. Il s'agit de s'appuyer sur des bases conceptuelles déjà existantes et identifiées lors de cet état de l'art (chapitre 4) pour proposer une méthode d'aide à la décision pour les concepteurs et les décideurs adaptée au contexte de l'évaluation de la soutenabilité en conception de PSS. Cette méthode ainsi proposée est décrite de façon détaillée dans la partie suivante.

PARTIE II : CONCEPTION D'UNE METHODE D'EVALUATION DE LA SOUTENABILITE

Introduction	75
Chapitre 5 : Cadre méthodologique	77
1. Prérequis de la méthode	77
2. Description du cadre méthodologique	78
3. Apport de la méthode	85
4. Conclusion du chapitre 5	86
Chapitre 6 : Proposition méthodologique	87
1. Phase 1 : Identification des enjeux de soutenabilité	88
2. Phase 2 : Sélection des scénarios satisfaisants	97
3. Conclusion du chapitre 2	116
Conclusion de la partie II	117

Introduction

La méthode proposée se situe au sein du processus de conception et intervient lorsque les membres de l'équipe de conception jugent nécessaire d'avoir une vision de la soutenabilité des scénarios qu'ils sont en train de concevoir.

Cependant, il serait présomptueux de prétendre que ce travail de thèse puisse proposer une méthode qui serait intégrée dans l'ensemble du processus de conception. Cette méthode vise plutôt à contribuer à l'évaluation lors de la conception préliminaire, en proposant une procédure globale qui sera introduite dans le chapitre 5 lors de la définition du cadre méthodologique. Le chapitre 6, développe la méthode et les phases qui la composent. Cette partie se termine par une conclusion de synthèse.

En se référant à la méthodologie de recherche DRM présentée dans la Partie I, cette deuxième partie a pour ambition de présenter la méthode finale issue des études prescriptives (EP-I et EP-II).

Chapitre 5 : Cadre méthodologique

Le cadre méthodologique a pour objectif de définir la vision et l'objectif de la méthode proposée. Il repose sur différentes caractéristiques : son périmètre, ses prérequis, ses intervenants.

L'analyse du processus de conception a fourni le périmètre dans lequel la méthode d'évaluation proposée s'inscrit, à savoir les étapes de génération d'idées, de développement de concepts et de concrétisation des scénarios. Ces trois étapes sont très en amont dans le processus de conception ce qui permet une marge de manœuvre dans la conception.

1. Prérequis de la méthode

Tout d'abord il est important d'identifier et de rassembler les prérequis. Ils sont de différents ordres :

- **D'ordre relationnel** : il est important que l'ensemble des membres de l'équipe d'évaluation ne soit pas hostiles (1) entre eux pour permettre un vrai climat d'échange et de collaboration et (2) au projet ; que chacun soit bien conscient et convaincu de la pertinence du projet conçu.
- **D'ordre technique** : les besoins du client doivent être clairement identifiés et disponibles. Ils ne sont pas forcément fixés ou stables mais ils sont le point de départ de la méthode.
- **D'ordre conceptuel** : les bases conceptuelles présentées dans le chapitre 4 doivent être comprises et acceptées pour une facilité de compréhension des différents livrables et mécanismes de la méthode.

De plus, les bénéficiaires et les utilisateurs de la méthode doivent être identifiés. Les travaux développés dans la suite du manuscrit montrent que cette méthode apporte de nouveaux éléments à l'équipe de conception afin de nourrir leur réflexion et d'alimenter les négociations et débats ; les membres de l'équipe de conception en sont donc naturellement les premiers bénéficiaires. Cependant, les acteurs économiques de la chaîne de création de valeur peuvent aussi capitaliser sur les informations fournies par la méthode sans nécessairement faire partie de l'équipe de conception ; ils sont donc les

seconds bénéficiaires de cette méthode. D'autre part, les utilisateurs de la méthode sont ceux qui vont permettre à la méthode d'être mobilisée ; ils seront par la suite nommés « l'équipe d'évaluation », pour les différencier de l'équipe de conception plus large. La composition de cette équipe d'évaluation ne s'impose pas comme une exigence fermée de la méthode, mais mérite d'être adaptée à chaque contexte ; il est recommandé qu'elle soit composée :

- Des acteurs directs de la chaîne de création de valeur (clients, fournisseurs et intermédiaires directs) car la méthode se basera sur leur point de vue afin de leur fournir une évaluation personnalisée. Les fournisseurs et intermédiaires indirects peuvent y être intégrés selon le désir d'exhaustivité du projet, cela ne fera que renforcer les prises de décisions.
- De certains membres de l'équipe de conception afin de guider les acteurs dans le déroulement de la méthode et de leur permettre de traduire certaines notions propres à la conception lors de la mise en œuvre de la méthode. Il serait donc souhaitable que l'acteur focal de l'équipe de conception (ou un représentant) et certains acteurs complémentaires participent à l'équipe d'évaluation.

2. Description du cadre méthodologique

Le cadre méthodologique est élaboré en se référant aux bases conceptuelles présentées dans le chapitre 4. Il est basé sur les trois étapes identifiées lors de l'analyse du processus de conception. Ces étapes ayant des objectifs et des livrables différents, la méthode proposée doit donc prendre en compte ces caractéristiques afin de fournir au décideur une évaluation de soutenabilité utile pour les décideurs. Elle devra aussi s'adapter au contexte de conception dans lequel la méthode d'évaluation s'intègre et c'est pourquoi ce cadre méthodologique a été construit sur les trois étapes de façon modulaire.

En effet, la particularité du cadre méthodologique est qu'il intègre un principe de modularité. Il est donc possible de n'appliquer qu'une partie de la méthode, dès lors que les hypothèses de départ sont validées et les prérequis de la phase sélectionnée fournis. Cela permet aux utilisateurs la flexibilité de suivre la méthode proposée dans son ensemble ou bien de choisir leur propre méthode sur des étapes bien définies, dès lors qu'ils considèrent avoir une méthode qui puisse être plus pertinente et adaptée à une étape donnée de leur contexte particulier de conception.

2.1. Articulation de la méthode

L'articulation de la méthode d'évaluation en trois parties modulaires est rendue possible par segmentation par les trois phases de conception sélectionnées lors de la présentation des bases conceptuelles (Chapitre 4).

La première phase a pour objectif de sélectionner les enjeux de soutenabilité qui semblent les plus importants en cohérence avec les besoins du client. Cette phase nécessite d'avoir l'expression de l'ensemble des besoins du client en entrée. Elle mobilise ensuite le système de support pour la génération d'idée ainsi que le cadre de soutenabilité (tous deux retenus dans les bases conceptuelles) afin de faire ressortir une liste réduite d'enjeux de soutenabilité correspondant au contexte ainsi que l'identification des impacts potentiels de chaque besoin sur ces enjeux.

La deuxième phase a pour objectif de sélectionner les scénarios satisfaisants au regard des enjeux de soutenabilité, en prenant en compte le point de vue de chaque acteur. Pour chacun des scénarios de conception évalués, cette phase requiert : la liste des acteurs de la chaîne de valeur, la liste des besoins du client et des fonctions permettant de répondre à ces besoins, ainsi qu'une liste d'enjeux de soutenabilité associée aux impacts potentiels de chaque besoin sur ces enjeux. Elle mobilise la hiérarchie fonctionnelle et l'analyse multicritère (ELECTRE I) afin d'éliminer les scénarios jugés non-satisfaisants.

La troisième phase a pour objectif de fournir une classification de la soutenabilité des scénarios évalués comme satisfaisants. Cette phase nécessite d'avoir la liste des acteurs de la chaîne de valeur, la liste des éléments structurels permettant de répondre à ces fonctions et une liste d'enjeux de soutenabilité ainsi que les impacts potentiels de chaque fonction sur ces enjeux. Elle mobilise la hiérarchie fonctionnelle, une analyse multicritère (de type ELECTRE II, PROMETHEE II,...) afin de classer les scénarios satisfaisants du plus au moins soutenable.

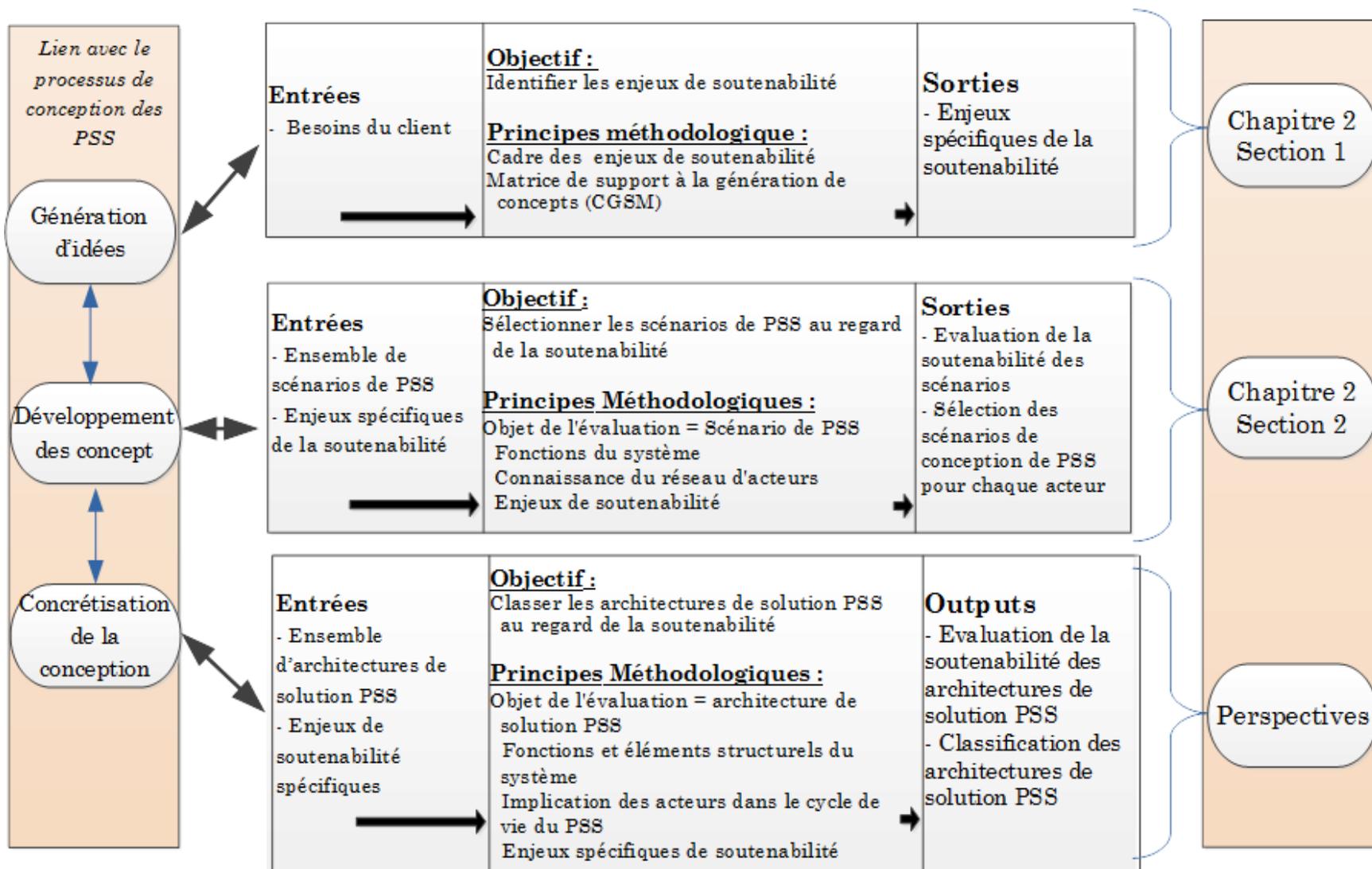


Figure 10 : Schéma global de la méthode

L'articulation des différentes phases dans le cadre méthodologique a permis de mettre en lumière les flux d'information majeurs en entrée et en sortie, permettant d'assurer la bonne intégration de l'ensemble, tout en respectant le principe de modularité souligné auparavant. L'indépendance des différentes phases permet à l'équipe d'évaluation de mobiliser chaque phase de conception selon ses besoins, notamment dans le déroulement temporel de l'application de la méthode. Il est cependant nécessaire que chaque phase respecte le format des données d'entrée et de sortie nécessaires au bon déroulement de l'ensemble. Cela permet également à l'équipe d'évaluation de pouvoir travailler de manière itérative sur chaque phase, chacune apportant des informations qui pourraient potentiellement influencer les données d'entrées. Si nécessaire, cette structuration permet aussi d'avoir recours à une autre méthode pour l'une ou l'autre des phases, tout en permettant le déroulement de l'ensemble.

Dans le périmètre de ce travail de thèse, nous avons proposé et développé des méthodes afin de répondre aux objectifs des phases 1 et 2. Ces phases sont développées dans le chapitre suivant. La phase 3 sera discutée dans les perspectives.

2.2. Modèle de représentation des scénarios

L'état de l'art a permis de mettre en avant de nombreuses caractéristiques d'une offre PSS. La méthode proposée sollicite ces différentes caractéristiques à différents moments de l'évaluation. Une modélisation d'une offre PSS, reposant sur des scénarios utilisés comme support du processus de conception et d'évaluation et reprenant ces différentes caractéristiques, permettrait de recueillir et de capitaliser sur les connaissances nécessaires à l'évaluation et d'en simplifier la compréhension.

Le concept de scénario est vaste et sa typologie dépend essentiellement de la finalité mais il reste constamment un outil d'aide à la décision (Lelah et al., 2014). Un scénario est en effet une description d'un futur possible selon différentes tendances imaginées (Van Notten et al., 2003). En se concentrant sur l'environnement de la conception des PSS, un scénario de conception de PSS peut être considéré comme la définition des caractéristiques du PSS et de sa structure logique et organisationnelle (Morelli, 2006).

La méthode requiert de manipuler mathématiquement l'information associée aux scénarios de conception. Sur la base de cette définition, nous introduirons progressivement dans le chapitre suivant les différents composants de base permettant de modéliser un scénario et le formalisme de représentation utilisé pour traiter mathématiquement l'évaluation des scénarios.

2.3. Indicateurs de la soutenabilité

L'état de l'art a permis d'identifier le cadre de soutenabilité basé sur 18 enjeux répartis selon les 3 piliers du développement durable. Dans notre objectif d'évaluation de la soutenabilité, il est nécessaire de se doter d'indicateurs correspondant à ces 18 enjeux. L'analyse d'un ensemble de cadres d'évaluation existants dans des contextes différents a permis d'identifier des similitudes et complémentarités entre les indicateurs proposés (Global Reporting Initiative, ISO26000, SA8000, OHSAS18001, MEPSS, Abramovici et al., 2014; Busset, 2014; Chou et al., 2014; Omann, 2007; Partidário et al., 2007)

Cependant, aucune méthode d'évaluation existante ne permet de répondre directement à notre problématique. Il est ainsi nécessaire de construire une nouvelle grille d'évaluation. Cette grille d'évaluation est une capitalisation des différents cadres existant en les reliant aux 18 enjeux de soutenabilité des PSS. En nous référant à ces différents cadres ou guides méthodologiques, nous proposons une liste d'indicateurs pour chaque enjeu présenté dans le Tableau 9. Le mode d'utilisation et de mesure de ces indicateurs sera précisé dans la suite du manuscrit.

Tableau 9 : grille d'évaluation des enjeux de soutenabilité

Enjeux	Indicateurs
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants
	Risque de travail des adolescents
	Risque de travail forcé
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge
	Risque de charge de travail excessive
	Risque lié à la liberté de syndicalisation
Equité et justice entre les acteurs	Engagement des parties prenantes dans la conception du système
	Prise en compte des attentes et potentialités des parties prenantes
	Promotion entre les acteurs de certifications sociales ou éthiques
	Promotion de la qualité et de l'accessibilité aux biens communs
Consommation durable / responsable	Adoption de normes soulignant la soutenabilité sociale
	Informations fournies à l'utilisateur sur le comportement soutenable
	Participation durable / responsable de l'utilisateur
	Implication de l'utilisateur dans la mise en œuvre de l'offre vers un comportement soutenable
	Implication de l'utilisateur dans la conception de l'offre vers un comportement soutenable
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès
	Développer des systèmes qui ont des biens économiques partagés
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts
Cohésion sociale	Risque de marginalisation genrée ou sexuelle
	Risque de marginalisation générationnelle ou culturelle
	Risque de discrimination genrée ou sexuelle
	Risque de discrimination religieuse ou culturelle
Intégration dans le territoire	Influence du système sur le tissu économique local
	Lien entre le système et les établissements d'enseignements et de formation
Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client
	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"
Valeur ajoutée pour le client	Réduction du coût d'élimination des déchets
	Augmentation des revenus
	Réduction des coûts
	Réduction de la dette/taxes
	Augmentation de la satisfaction
	Transfert de la responsabilité
Personnalisation de l'offre	

	Flexibilité
Pérennisation de l'entreprise	Potentiel d'amélioration de la flexibilité
	Potentiel d'amélioration de la capacité d'innovation
	Utilisation d'une méthode de suivi
	Potentiel d'intégration des connaissances
	Expertise en management de l'information, la connaissance
	Risque lié à l'investissement
	Risque d'évolution de la législation
Partenariat	Identification des partenaires potentiels
	Nombre de partenariats conclus
	Potentiel d'amélioration de l'organisation
	Potentiel de réduction du prix
	Potentiel d'amélioration de la visibilité de l'offre
Macro-économie	Potentiel d'impact économique localement
	Utilisation de produits ou produits de support locaux
	Potentiel de création d'emplois localement
Optimisation de la vie du système	Importance de la masse des produits jetables
	Importance de la masse de produits à usage unique
	Importance de la masse des emballages
	Recyclabilité des emballages
	Obsolescence fonctionnelle
	Péréemption planifiée
	Péréemption indirecte / par notification
	Obsolescence par incompatibilité
	Obsolescence esthétique
	Présence de partie sensible
Réduction du transport	Transport de marchandises
	Transport de personnes
	Mise en place d'une optimisation du transport
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système
	Utilisation d'une démarche d'écoconception
	Utilisation de consommables ou de ressources naturelles (eau, ...)
	Si oui, limitation de cette consommation
Valorisation des déchets	Système de récupération du produit en fin de vie
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement
Conservation des ressources / Biocompatibilité	Importance de ressources non-renouvelable ou avec un taux de renouvellement très faible dans le système
Réduction de la toxicité	Présence de matière potentiellement dangereuse
	Présence de mécanisme pour minimiser le risque de contamination

3. Apport de la méthode

La méthode proposée est donc une méthode de sélection de scénarios de conception de PSS, basée sur des mécanismes d'évaluation de la soutenabilité. Elle a pour objectif de caractériser les impacts potentiels sociétaux, économiques et environnementaux d'un scénario de conception de PSS afin d'aider à la décision pour concevoir des PSS soutenables.

La méthode a pour ambition de pouvoir s'appliquer aux PSS en démarrant l'évaluation dès la phase de conception préliminaire, avant d'approfondir les phases de conception détaillée qui suivront. La méthode se veut générique en ce sens qu'elle s'applique à n'importe quel PSS.

Par ailleurs, la méthode s'inscrivant dans un processus d'aide à la décision, elle remplit les trois phases du processus de décision proposé par Simon (1960) à savoir :

1. La phase d'intelligence : la méthode permet d'identifier et d'améliorer la compréhension du problème. Cette phase, qui concerne la modélisation formelle du problème de conception, est réalisée principalement en amont de la méthode. La méthode d'évaluation proposée met cependant l'accent sur une meilleure compréhension des leviers de soutenabilité par les concepteurs.
2. La phase de conception : la méthode permet de concevoir et de d'identifier les différentes alternatives, traitées dans la méthode sous forme de scénarios de conception.
3. La phase de choix : la méthode permet de sélectionner une ou plusieurs alternatives, notamment par l'élimination de scénarios non-satisfaisants du point de vue de la soutenabilité.

La méthode de sélection de scénario de conception de PSS offre donc alors plusieurs opportunités contribuant à la suite du processus de conception :

- Réaliser un choix technologique
- Réaliser un choix de réseau de valeur
- Communiquer sur la soutenabilité d'un PSS

4. Conclusion du chapitre 5

La méthode repose sur un cadre générique. Elle permet aux concepteurs et aux acteurs du réseau de valeur d'intégrer des considérations de soutenabilité dans des choix de conception. L'équipe d'évaluation coordonne le dialogue entre les concepteurs et les acteurs du réseau de valeur. La difficulté est alors multiple :

1. Modéliser le système en cours et notamment les scénarios de conception.
2. Modéliser les interactions entre les scénarios de conception et les enjeux de soutenabilité

Le problème réside dans le fait que la méthode doit puiser les éléments nécessaires à son déroulement dans différents modèles et méthodes existants. La méthode proposée permet de capitaliser sur les éléments de conception développés par l'équipe de conception, de modéliser des scénarios de conception de PSS et de modéliser les interactions entre les scénarios de conception et les enjeux de soutenabilité afin de les analyser de façon multicritère.

Pour implémenter cette méthode de sélection des scénarios de conception de PSS mettant en relation les différents modèles et méthodes existantes, un outil informatique a été construit et expérimenté. La méthode proposée, et l'outil associé, constituent un pas en avant scientifique en vue de l'intégration des considérations de soutenabilité pour la conception de PSS, afin d'aider les processus de prise de décisions suivis par les concepteurs de ces systèmes.

Chapitre 6 : Proposition méthodologique

La méthode a pour objectif d'accompagner l'équipe de conception PSS lors du processus de conception d'une solution globale de PSS en lui fournissant des informations sur les impacts environnementaux, sociétaux et économiques que pourraient engendrer la mise en place de l'offre. Elle se base sur une comparaison entre les différents scénarios envisagés par l'équipe de conception PSS. Généralement une telle équipe est pluridisciplinaire avec des objectifs, compétences et centres d'intérêts différents (voire antagonistes). Elle inclut les différents acteurs de la mise en œuvre de cette solution (fournisseurs, clients, utilisateurs, ...). La méthode proposée pour la conception de PSS et son application ne sont pas destinées à un contexte spécifique de conception : il est donc possible d'adapter la méthode à l'ensemble des types de PSS et des contextes de conception.

Le point commun à l'ensemble des contextes de conception de PSS est la nécessité de prendre en compte les différentes visions des acteurs, couplée à un faible niveau d'information sur le système et à des enjeux de soutenabilité non-compensables. Ce préalable justifie la mobilisation d'outils d'analyse multicritère et multi-acteurs pour l'analyse et l'interprétation de l'évaluation de soutenabilité dans un but d'aide à la décision.

La méthode proposée se situe entre l'analyse du besoin qui fournit, en amont, l'expression des besoins du client et les étapes de concrétisation de la conception incluant le prototypage où les outils classiques d'évaluation de soutenabilité sont suffisamment nourris pour fournir des informations plus détaillées à l'équipe de conception PSS.

Comme introduit dans le chapitre précédent, la méthode proposée est située sur deux phases de conception mises en évidence par l'état de l'art, la génération d'idées et le développement de concepts. Pour chaque phase, la méthode répond à un objectif distinct : la première phase sert à introduire et à sélectionner les enjeux de soutenabilité les plus pertinents pour le contexte étudié ; la deuxième phase évalue l'impact sur la soutenabilité des différents scénarios développés et permet ainsi aux acteurs d'avoir une vue globale de la soutenabilité de chaque solution. Cette décomposition en deux phases trouve son origine dans la structuration du processus de conception : ces phases sont sélectionnées comme périmètre de notre recherche. Les objectifs distincts de chacune induisent de faire appel à des bases conceptuelles et outils différents.

Le déroulé de la méthode est présenté dans la Figure 11, les étapes intermédiaires de ces phases y figurent également pour donner une vue d'ensemble à la méthode. L'objectif de chaque phase est présenté dans les parties suivantes ainsi que les étapes

qui la composent. Une présentation des outils mobilisés et des résultats de chaque phase et étape de la méthode est faite.

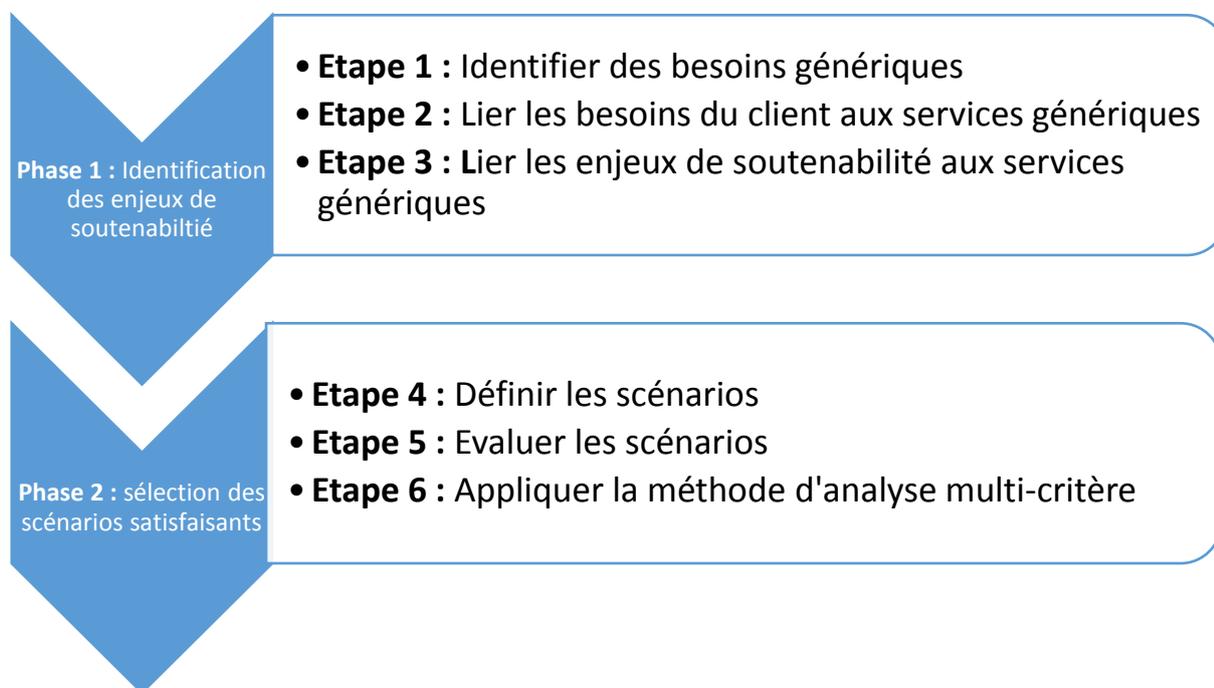


Figure 11 : Représentation schématique de la méthode proposée

1. Phase 1 : Identification des enjeux de soutenabilité

Au regard des données disponibles à ce moment de la conception, la première phase consiste, pour l'équipe d'évaluation PSS, à identifier les enjeux prioritaires dans leur contexte de mise en œuvre de l'offre PSS. Bien que l'équipe de conception soit à même d'identifier les enjeux de soutenabilité en lien avec le contexte considéré, une aide à la sélection est proposée. Cette aide peut être utilisée de deux manières : (1) *a priori*, comme guide à la sélection des enjeux de soutenabilité de façon la plus objective possible (basé sur l'avis d'experts) ou (2) *a posteriori*, comme validation de la pertinence du choix de l'équipe de conception.

Ce guide méthodologique a vocation à être modifié et amélioré de façon collégiale par l'équipe de conception PSS afin de rendre les conclusions encore plus contextualisées. Cela implique nécessairement un investissement humain temporel non-négligeable et une étape de validation d'expert extérieur.

La phase 1 est organisée en trois étapes schématisées par la Figure 12. La première étape consiste à générer les besoins du client en identifiant les besoins génériques

correspondants. La deuxième permet de traduire ces besoins en catégories génériques de services. Enfin la dernière étape permet d'identifier les enjeux de soutenabilité associés aux catégories génériques de services.

Le résultat de la phase 1 est représenté par un tableau permettant d'identifier, pour chaque besoin exprimé, les enjeux de soutenabilité qui interagissent avec lui ainsi qu'un indice associé traduisant l'occurrence de cette interaction (voir les précisions ci-après).

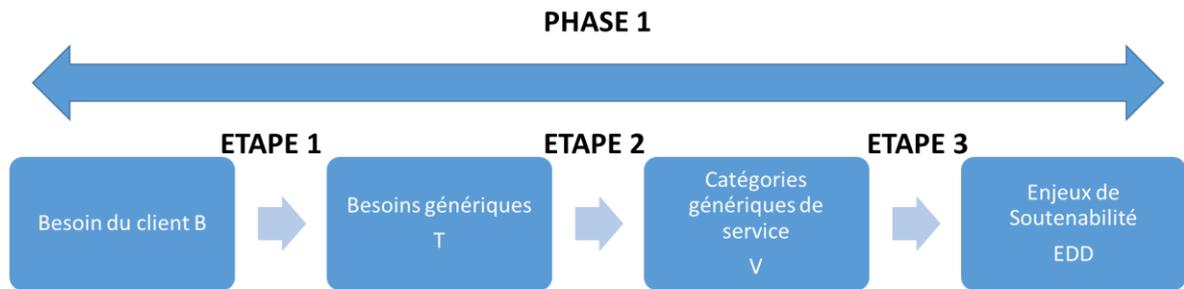


Figure 12 : schéma de la phase 1 : Identifications des enjeux de soutenabilité

1.1. Etape 1 : Identifier les besoins génériques

Identifier les besoins génériques revient à traduire chaque besoin du client en un ou plusieurs besoins génériques. La référence aux besoins génériques proposés est issue de la littérature scientifique, cette référence est développée et justifiée dans le chapitre 4. Cette étape permet de s'extraire de la subjectivité des décideurs vis-à-vis des enjeux de soutenabilité associés au contexte dans lequel le système qu'ils conçoivent sera implanté.

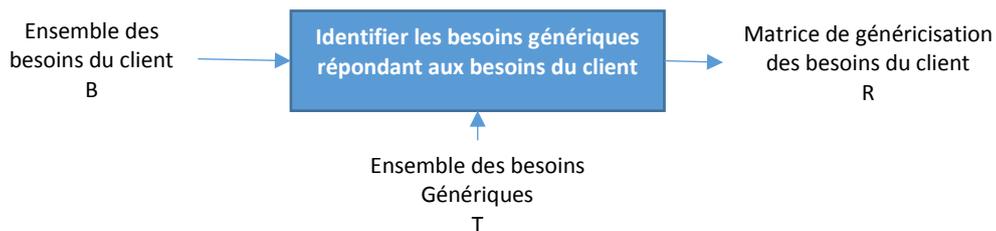


Figure 13 : Schéma méthodologique de l'étape 1

1.1.1. Expression des besoins du client

L'expression des besoins du client proposé correspond à l'identification par l'équipe de conception des besoins du client. L'Équation 1 représente l'ensemble des besoins du client (B) :

$$B = \{B_l\}; l = 1 \dots b$$

Équation 1

- **B** est l'ensemble des Besoins clients
- **B_l** est le *l* élément de la liste B. Il représente la dénomination du besoin du client *l*.
- *b* est le nombre de besoins du client

Les besoins B_l devront nécessairement suivre la structure grammaticale suivante :

<Groupe verbal> <Groupe nominal>

Le groupe verbal est obligatoire, le groupe nominal est, quant à lui, optionnel. Cette structure est empruntée à l'analyse fonctionnelle normalisée par l'AFNOR ; l'utilisation de cette normalisation n'impacte pas l'application de la méthode mais elle facilite la représentation. Outre cette définition formelle, certaines règles d'usage sont à respecter :

- La formulation selon une forme passive ou une forme négative sont à éviter,
- La formulation de la fonction doit être indépendante des solutions susceptibles de la réaliser,
- La formulation doit être la plus concise et la plus claire possible.

1.1.2. Besoins génériques

Les 20 besoins génériques, extraits des travaux de Kim et al. (2012), représentent de manière exhaustive une typologie couvrant l'ensemble des besoins qu'un client serait susceptible d'exprimer ou les décideurs d'identifier. Ils sont le point de départ pour la conception des PSS et permettent de rendre le processus de l'étape 1 générique. Les étapes suivantes peuvent alors être développées indépendamment du contexte. Pour faciliter la liaison avec les besoins du client, ils sont construits selon la même structure grammaticale présentée précédemment. L'Équation 2 représente l'ensemble des besoins génériques (T) :

$$T = \{T_o\}; o = 1..20$$

Équation 2

Où

- **T** : est l'ensemble des Besoins génériques

- T_o est le o élément de la liste T. Il représente la dénomination prédéfinie du besoin générique o .

1.1.3. Expression de la Matrice de généricisation des besoins du client

La liaison entre les besoins du client et les besoins génériques revient à établir les correspondances existant entre ces deux listes de besoins. Cette étape est importante car elle conditionne tous les résultats ; c'est pourquoi il est nécessaire que cette étape soit réalisée par les décideurs et que le résultat fasse consensus au sein du groupe. Cette liaison résulte en fait d'un recueil d'information pour l'identification des liens de correspondance entre un besoin générique T_o avec un besoin du client B_l . Le résultat de ce recueil est calculé par l'Équation 3 et représenté dans le Tableau 10 :

$$R = (\psi_{l,o})_{l=1..b,o=1..20} \quad \text{Équation 3}$$

Où

- R est la matrice de généricisation dimension (b x 20)
- $\psi_{l,o}$ est une variable binaire. Si le besoin générique o traduit au moins partiellement le besoin du client l alors $\psi_{l,o} = 1$ sinon $\psi_{l,o} = 0$.

Tableau 10 : représentation de ma matrice R ($R = (\psi_{l,o})_{l=1..b,o=1..20}$)

Équation 3)

	Besoin générique 1	Besoin générique 2	...	Besoin générique 20
Besoin du client 1	$\psi_{1,1}$	$\psi_{1,2}$	...	$\psi_{1,20}$
Besoin du client 2	$\psi_{2,1}$	$\psi_{2,2}$	...	$\psi_{2,20}$
...	
Besoin du client b	$\psi_{b,1}$	$\psi_{b,2}$	...	$\psi_{b,20}$

1.2. Etape 2 : Lier les besoins du client aux catégories génériques de services

La deuxième étape propose de transformer les besoins du client en catégories génériques de services ; elle est présentée de façon schématique par la Figure 14. Ce lien entre les besoins génériques et les catégories génériques de services a été mis en lumière par les

travaux de Kim et al. (2012). En se basant sur leurs travaux et notamment la *Concept generation support matrix* (en français, Matrice de support à la génération de concept) proposée, et en y appliquant les besoins génériques en entrée, il en ressort une liste de catégories génériques de services.

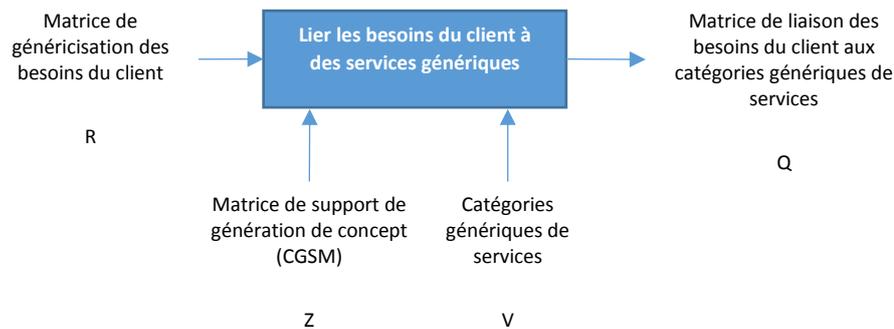


Figure 14 : Schéma méthodologique de l'étape 2

1.2.1. Les catégories génériques de services ou « PSS model »

Dans la méthode proposée, les catégories génériques de services utilisés sont issues des travaux de Kim et al. (2012). Ils sont au nombre de vingt-cinq, une description détaillée est disponible dans le Chapitre 4 : Bases conceptuelles et éléments de solution retenus Chapitre 4. L'Équation 4 représente l'ensemble des catégories génériques de services (V) :

$$V = \{ V_w \}_{w=1..25} \quad \text{Équation 4}$$

Où

- V est l'ensemble des catégories génériques de services
- V_w est l'élément w de l'ensemble V. Il représente la dénomination de la catégorie générique de services w .

1.2.2. Expression de la matrice support pour la génération d'idées

Une fois les besoins génériques sélectionnés, il faut pouvoir établir un lien entre les besoins génériques et les catégories génériques de services afin de pouvoir passer de l'un à l'autre de façon systématique. En se basant sur des études de cas, Kim et al., (2012) ont établi une matrice pouvant servir de support à cette liaison. Cette matrice notée Z est définie par l'Équation 5 :

$$Z = (Z_{o,w}); o = 1..20; w = 1..25 \quad \text{Équation 5}$$

Où

- Z représente la matrice *Concept generation support matrix* (CGSM).
- $Z_{o,w}$ indique le nombre d'études de cas où le service w a été mis en œuvre pour répondre au besoin o .

1.2.3. Calcul des liens entre les besoins du client et les catégories génériques de services

L'implémentation du système de PSS et les activités associées sont responsables de l'impact potentiel sur la soutenabilité. Les besoins, quant à eux, ne traduisent qu'une problématique du client. Il est donc nécessaire de lier les besoins du client aux catégories génériques de services afin de pouvoir les lier aux enjeux de soutenabilité. Ce lien est réalisé par le produit matriciel Q (Équation 6) tel que :

$$Q = R * Z = (Q_{l,w})_{l=1..b,w=1..25} \quad \text{Équation 6}$$

Où

- Q est la matrice de dimension $(l * w)$
- L'entrée $Q_{l,w}$ indique le nombre d'études de cas où le service de PSS w a été mis en œuvre pour répondre à un besoin, identifié comme similaire au besoin du client l

Afin de ne sélectionner que les services les plus représentés, deux filtres (Équation 7 et Équation 8) sont appliqués et le résultat de cette phase est présenté dans le Tableau 11 :

- Le vecteur Q_l , pour un service de PSS w donné, tel que le module de Q_l , soit supérieur à la moyenne de l'ensemble des modules des $Q_l, \forall w \in [1..25]$

$$\sum_{l=1}^b q_l \geq \frac{\sum_{w=1}^{25} \sum_{l=1}^b q_{l,w}}{25} \quad \text{Équation 7}$$

- Le nombre de composantes non nulles de ψ_l , pour un o donné, soit supérieure à la moyenne du nombre de composantes non nulles des $\psi_{l,o}, \forall o \in [1..20]$

$$\sum_{o=1}^{20} \psi_{l,o} \geq \frac{\sum_{o=1}^{20} \sum_{l=1}^b \psi_{l,o}}{25} \quad \text{Équation 8}$$

Tableau 11 : Représentation du lien entre les besoins du client et les catégories génériques de services

	Service générique 1	Service générique 2	...	Service générique 20
Besoin du client 1	$\psi_{1,1}$ ou 0	$\psi_{1,2}$ ou 0	...	$\psi_{1,20}$ ou 0
Besoin du client 2	$\psi_{2,1}$ ou 0	$\psi_{2,2}$ ou 0	...	$\psi_{2,20}$ ou 0
...	
Besoin du client b	$\psi_{b,1}$ ou 0	$\psi_{b,2}$ ou 0	...	$\psi_{b,20}$ ou 0

1.3. Etape 3 : lier les enjeux de soutenabilité aux besoins du client

L'objectif de cette dernière étape de la phase 1 est d'introduire les enjeux de soutenabilité afin de faire ressortir les plus pertinents à prendre en compte pour l'équipe de conception PSS. Cette étape est schématisée par la Figure 15. Plusieurs sous étapes sont nécessaires pour aboutir à calculer une matrice U, exprimant l'impact potentiel des besoins clients en termes de soutenabilité.



Figure 15 : Schéma méthodologique de l'étape 3

1.3.1. Cadre de soutenabilité des Systèmes Produits-Services

Avant d'identifier les enjeux les plus pertinents pour répondre à des besoins spécifiques, il est nécessaire de partir d'une liste générique d'enjeux de soutenabilité. Dans ses travaux, Vezzoli et al. (2014) proposent une liste d'enjeux de soutenabilité qui peuvent servir d'évaluation mais aussi de guide pour diriger la conception (Chapitre 4). Les dix-huit enjeux couvrent les trois piliers du développement durable (six enjeux pour

chaque pilier). L'Équation 9 représente l'ensemble des enjeux de soutenabilité, noté (EDD) :

$$EDD = \{EDD_k\}; k = 1 \dots 18 \quad \text{Équation 9}$$

Où

- EDD est l'ensemble des enjeux de soutenabilité
- EDD_k est l'élément k de l'ensemble EDD

1.3.2. Lien entre les enjeux de soutenabilité et les catégories génériques de services

Après avoir identifié les enjeux de soutenabilité des PSS et les catégories génériques de services séparément, des liens doivent être mis en place entre ces deux éléments pour permettre l'intégration de la soutenabilité au sein du processus de conception. Pour éviter que l'équipe d'évaluation n'oriente, consciemment ou non, ces liens entre enjeux de soutenabilité et catégories génériques de services sont identifiés par des experts académiques dont les domaines et disciplines d'expertise sont résumés dans le Tableau 12. Cette activité d'identification a été réalisée lors de la construction de cette méthode de façon générique ce qui permet de s'extraire du biais potentiel que la consultation de l'équipe d'évaluation aurait amené. La constitution de l'équipe d'experts académiques qui a rempli le panel a été guidé par deux paramètres :

1. Une certaine distance vis-à-vis de l'encadrement de la thèse afin de garantir une certaine neutralité sur la tâche.
2. La volonté de couvrir le plus largement possible et de façon homogène le spectre de la soutenabilité.

Chaque expert a alors identifié, selon son expertise, les impacts potentiels des catégories génériques de services sur les enjeux de soutenabilité et n'ont été sélectionnés que les liens ayant été identifiés par au moins la moitié des experts. Cette consultation des experts a permis d'établir des liens de correspondance entre catégories génériques de services et enjeux. Ces liens traduisent le fait qu'un service générique peut impacter, de manière négative ou positive, un enjeu de soutenabilité. Le résultat est une matrice K (Équation 10) telle que :

$$K = (\sigma_{w,k})_{w=1..25,k=1..18} \quad \text{Équation 10}$$

Où

- K est une matrice de dimension $(w * k)$
- $\sigma_{k,w}$ est une variable binaire. Si le service génériques w impacte l'enjeu de soutenabilité k alors $\sigma_{w,k} = \mathbf{1}$; Sinon $\beta_{i,j} = \mathbf{0}$

Tableau 12 : Domaines et disciplines des experts consultés

	Domaine scientifique	Discipline
Auteur de la thèse	Science et génie de l'environnement	Economie circulaire, Evaluation de la soutenabilité
Expert 1	Science de Gestion	Responsabilité Sociétale des Entreprises, Stratégie, Petites et Moyennes Entreprises
Expert 2	Science de Gestion	Gestion des Ressources Humaines, Responsabilité Sociétale des Entreprises, Economie Sociale et Solidaire
Expert 3	Science et génie de l'environnement	Conservation de la biodiversité, Responsabilité Sociétale des Entreprises
Expert 4	Génie Industriel	Gestion de production, Management du risque
Expert 5	Génie Industriel	Aide à la décision, modélisation de modèle d'affaires

1.4. Livrable de la phase 1

Les matrices peuvent être reliées entre elles afin d'identifier les enjeux de soutenabilité liés aux besoins du client, en constituant ainsi une nouvelle matrice (U) évaluant les impacts potentiels des besoins du client. Chaque élément de cette matrice correspond à un impact potentiel d'un besoin du client donné sur un enjeu de soutenabilité spécifique. En pratique, la matrice est calculée par l'Équation 11. Le Tableau 13 représente les impacts potentiels des besoins du client.

$$U = Q * K = R * Z * K = (\mathbf{u}_{l,k})_{l=1..b;k=1..e}; \mathbf{u}_{l,k} \in \mathbb{R}_+ \quad \text{Équation 11}$$

Où

- U est la matrice de dimension $(b * e)$.

- $u_{l,k}$ représente l'impact potentiel du besoin du client l sur l'enjeu de soutenabilité k .

Tableau 13 : Représentation des impacts potentiels des besoins du client

	Enjeu de soutenabilité 1	Enjeu de soutenabilité 2	...	Enjeu de soutenabilité e
Besoin du client 1	$u_{1,1}$	$u_{1,2}$	...	$u_{1,e}$
Besoin du client 1	$u_{2,1}$	$u_{2,2}$	...	$u_{2,e}$
...
Besoin du client b	$u_{b,1}$	$u_{b,2}$	...	$u_{b,e}$

2. Phase 2 : Sélection des scénarios satisfaisants

Cette deuxième phase a pour finalité de fournir à l'équipe de conception PSS une évaluation des scénarios au regard de la soutenabilité. Cette évaluation vise à répondre à un triple objectif :

1. Fournir aux différents acteurs une première sélection des scénarios de conception PSS satisfaisants et non-satisfaisants au regard de la soutenabilité
2. Identifier, pour ces mêmes acteurs, les points d'amélioration de la soutenabilité selon les scénarios
3. Permettre aux acteurs d'engager un processus de négociation grâce aux informations issues de cette phase. Comme lors de la phase précédente, l'équipe de conception PSS sera à nouveau sollicitée pour son expertise du système et sa connaissance du contexte industriel.

Cette phase introduit par ailleurs de nouvelles notions : les fonctions, qui permettent de traduire la manière dont il serait possible de répondre au besoin du client ; les acteurs mobilisés pour réaliser les fonctions ; la construction de scénarios de conception dessinant l'articulation organisationnelle (**les acteurs**) et fonctionnelle (**les fonctions**) d'une offre.

Comme lors de la première phase, l'objectif global est décomposé en sous-objectifs différenciés, conduisant en une décomposition en différentes étapes. La phase 2 est organisée en trois étapes schématisées par la Figure 16. La première étape (étape 4) identifie l'importance des enjeux de soutenabilité définis pour chaque acteur. Elle sera réalisée autant de fois qu'il y a de scénarios de conception existants. La deuxième étape (étape 5) évalue de façon qualitative l'impact de ces scénarios de conception sur les

enjeux de soutenabilité et transforme ensuite le résultat en un score quantitatif pour chaque enjeu. Enfin la troisième étape (étape 6) sélectionne, au moyen d'une analyse multicritère, les scénarios acceptables pour chaque acteur.

Le résultat de la phase 2 est représenté par un tableau permettant d'identifier, pour chaque acteur participant aux différents scénarios de PSS, les scénarios non-acceptables et donc éliminés de la négociation.

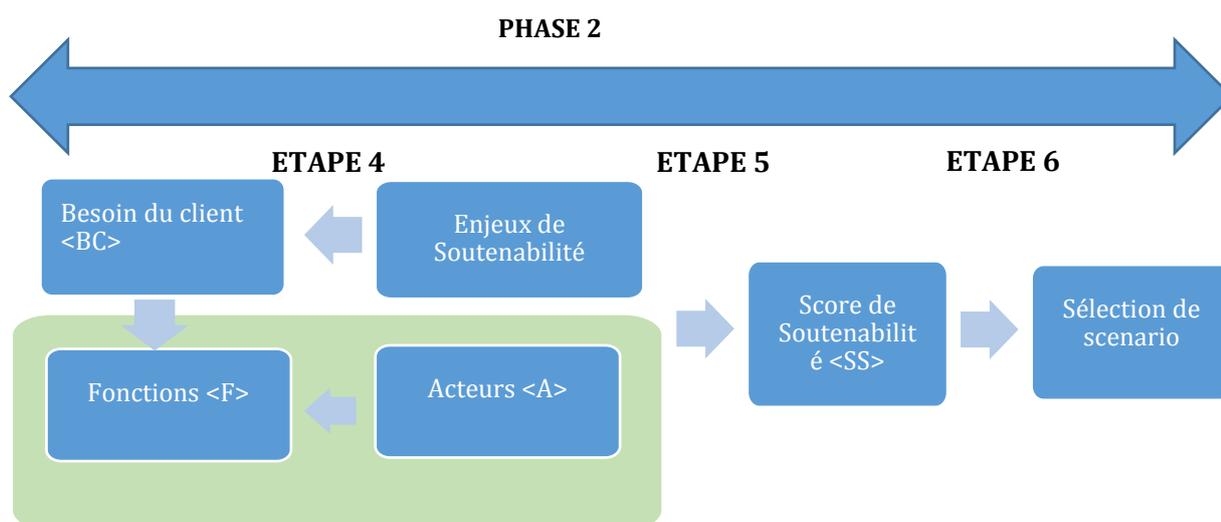


Figure 16 : schéma de la phase 2 : Sélection des scénarios satisfaisants

2.1. Etape 4 : Définir les scénarios PSS

Après avoir défini les besoins du client et les enjeux de soutenabilité liés à la problématique de conception, le processus de conception va se concentrer sur la façon de répondre aux besoins du client. Pour atteindre cet objectif, de nouvelles données vont devoir être introduites dans la méthode : premièrement, les besoins exprimés lors de la première phase sont décomposés en fonctions ; deuxièmement, les acteurs sont mis en relation avec ces fonctions. Ce qui permet de relier les acteurs aux fonctions, elles-mêmes liées aux besoins, dont la première phase a permis d'identifier les enjeux soutenabilité, qui sont les composantes d'un scénario.

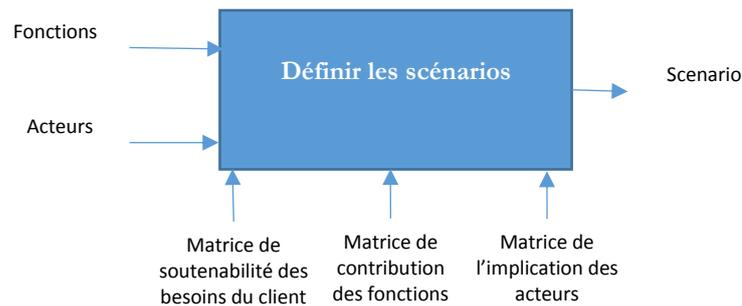


Figure 17 : schéma méthodologique de l'étape 4

2.1.1. Définitions des fonctions

Les besoins utilisés lors de la première phase traduisent les problématiques auxquelles le client est confronté ; il convient de transformer les problématiques en réponses. Cette tâche est réalisée par les concepteurs qui identifient, pour chaque besoin du client, un groupe de fonctions contribuant partiellement ou totalement à sa satisfaction. Les outils de hiérarchie fonctionnelle proposés par Van Ostaeyen (2013) et Rondini (2016), analysés dans l'état de l'art servent de bases conceptuelles à la méthode. Une fonction peut ensuite être décomposée au niveau le plus approprié afin de rencontrer le niveau des solutions techniques, englobant au sein du PSS à la fois les fonctionnalités fournis par le système technique et les activités de services nécessaires.

Un groupe de fonctions (F) correspond donc à une façon de répondre aux besoins identifiés. Chaque groupe de fonctions doit répondre à l'ensemble des besoins, afin de pouvoir comparer des groupes fonctionnels alternatifs entre eux. L'Équation 12 représente un ensemble de fonctions :

$$F = \{F_j\}_{j=1..f} \quad \text{Équation 12}$$

- F est une liste des fonctions conçues pour répondre à l'ensemble des Besoins du client de façon pertinente.
- F_j représente une fonction permettant de satisfaire un ou plusieurs besoins du client, partiellement, ou totalement. Son expression est régie par la norme NF X 50-151 : « une fonction se compose d'un verbe ou d'un groupe verbal caractérisant l'action, et de compléments représentant les éléments du milieu extérieur concernés par la fonction »
- f est le nombre global de fonctions nécessaires pour le PSS.

Les outils de hiérarchie fonctionnelle permettant une décomposition en arborescence, les relations entre les besoins (B) et les fonctions (F) sont facilement identifiables. Cette décomposition fonctionnelle s'arrête au niveau décidé par les concepteurs.

Une matrice D peut alors être calculée (Équation 13) pour représenter cette décomposition fonctionnelle telle que :

$$D = (d_{l,j})_{l=1..b;j=1..f} \quad \text{Équation 13}$$

- **D** est une matrice de dimension $(b \times f)$ qui représente la contribution des fonctions (F) aux besoins (B)
- $d_{l,j}$ indique la contribution de la fonction F_j au besoin du client B_l . Si la fonction F_j contribue effectivement à répondre au besoin du client B_l , alors $d_{l,j} = 1$; sinon, $d_{l,j} = 0$.

Ensuite, la matrice D est normalisée et aboutit à D'. La valeur de $d'_{l,j}$ de D' résulte de la normalisation de $d_{l,j}$ (Équation 14) telle que la somme des contributions de l'ensemble des fonctions pour un besoin donné soit égale à 1.

$$d'_{l,j} = \frac{d_{l,j}}{\sum_{j=1}^f d_{l,j}} \quad \text{Équation 14}$$

Cette normalisation est nécessaire pour l'étape suivante, notamment l'allocation de l'impact potentiel $u_{l,k}$ d'un besoin donné B_l sur une dimension E_k , à travers la liste des fonctions F_j contribuant à B_l .

2.1.2. Calcul du potentiel d'impact des fonctions

Après avoir établi un lien entre les besoins du client (B) et les fonctions (F), il est possible d'identifier l'impact potentiel des Fonctions sur les enjeux de soutenabilité. Les besoins du client étant initialement reliés aux enjeux de soutenabilité (U), ces enjeux de soutenabilité peuvent alors être liés aux fonctions (F). L'Équation 15 représente le calcul du potentiel d'impact d'un groupe de fonctions sur les enjeux de fonctionnalités :

$$C = D'^T * U = (c_{j,k})_{j=1..f,k=1..e} ; \{c_{j,k} \in \mathbb{R}_+\} \quad \text{Équation 15}$$

- **C** est une matrice de dimension $(f \times e)$ représentant les potentiels d'impact des fonctions.

- $c_{j,k}$ indique le potentiel d'impact de la fonction j sur l'enjeu de la soutenabilité k . La valeur de $c_{j,k}$ est comprise entre 0 et $u_{j,k}$ où $u_{j,k}$ représente l'impact potentiel du besoin du client j sur l'enjeu de soutenabilité k .

2.1.3. Identification des acteurs impliqués dans le réseau de conception

La méthode d'évaluation ayant pour objectif de fournir aux acteurs une estimation de leur contribution respective à l'impact du PSS sur la soutenabilité. L'hypothèse de la méthode se base sur le fait que cette contribution est corrélée à l'implication des acteurs dans le réseau de valeur. Les acteurs sont alors considérés à travers les fonctions du PSS. Cette contribution est formalisée par l' $\mathbf{G}=(\beta_{i,j})_{i=1..a,j=1..f}; \{\beta_{i,j} \in \mathbb{N} | \beta_{i,j} = \{0; 1\}\}$

Équation 17. Cette information peut être utile afin d'établir deux éléments nécessaires au déroulement de la méthode :

1. Quantifier l'implication des acteurs au regard des enjeux de soutenabilité.
2. Evaluer le point de vue spécifique de chaque acteur, à travers un « score de soutenabilité » qui sera défini ultérieurement.

Premièrement, l'ensemble des acteurs est défini par l'Équation 16 tel que :

$$A = \{A_i\}_{i=1..a} \quad \text{Équation 16}$$

Où

- A est l'ensemble des acteurs impliqués dans le réseau de valeur du PSS.
- A_i est le i -élément de l'ensemble (A). Il représente le nom de l'acteur i du système.
- a est le nombre d'acteurs impliqués.

Chaque acteur peut être impliqué dans le réseau de valeur à travers un ou plusieurs rôles vis-à-vis des fonctions du PSS en cours de conception :

1. Quand l'acteur est impliqué dans les processus de production ou l'implémentation de la fonction, il a le rôle de fournisseur de la fonction.
2. Quand l'acteur est impacté par la réalisation de la fonction, il a le rôle du client/utilisateur de la fonction.

La méthode proposée utilise l'implication de l'acteur, quelle que soit la nature de sa contribution, cette information est obtenue soit directement par l'équipe d'évaluation soit après consultation de l'équipe de conception. La matrice fonctionnelle G (Équation 17) exprime l'existence de ce lien d'implication entre les acteurs (A) du réseau de création de valeur et les fonctions (F).

$$G = (\beta_{i,j})_{i=1..a,j=1..f} ; \{\beta_{i,j} \in \mathbb{N} \mid \beta_{i,j} = \{0; 1\}\} \quad \text{Équation 17}$$

- G est une matrice de dimension (a * f)
- $\beta_{i,j}$ est une variable binaire. Si il existe a minima un des rôles liant l'acteur i à la fonction j alors $\beta_{i,j} = 1$, sinon $\beta_{i,j} = 0$.

2.1.4. Calcul de l'impact potentiel des acteurs

Les acteurs, par leurs différents rôles, impactent la soutenabilité de plusieurs façons. Il est alors nécessaire d'identifier l'impact potentiel de chaque acteur dans le but d'identifier les enjeux de soutenabilité les plus impactés par chacun d'entre eux. L'impact potentiel de chaque acteur est calculé par le produit de la matrice de mise en relation des acteurs aux fonctions (G) et de la matrice de potentiel d'impact des fonctions (C).

Le potentiel d'impact des acteurs (H) se calcule par l'Équation 18, tel que :

$$H = G * C = (h_k^i)_{i=1..a;k=1..e} ; \{h_k^i \in \mathbb{R}_+\} \quad \text{Équation 18}$$

- H est une matrice de dimension (a x e)
- $h_{i,k}$ indique le potentiel d'impact de l'acteur Ai sur l'enjeu de soutenabilité Ek. La valeur de $h_{i,k}$ est comprise entre 0 et $c_{j,k}$ où $c_{j,k}$ représente le potentiel d'impact de la fonction Fj sur l'enjeu de la soutenabilité Ek

2.1.5. Définition des scénarios

Un scenario de conception est une réponse organisationnelle et fonctionnelle aux besoins du client. Durant le processus de conception, différents scénarios sont explorés.

Un scénario peut être défini (Équation 19) par :

$$S = \langle F, D, A, G, H, C \rangle \quad \text{Équation 19}$$

- F est l'ensemble de fonctions conçues pour répondre aux besoins du client, (B), de façon pertinente.
- D est la matrice de contribution des fonctions (F) aux besoins du client, (B).
- A est l'ensemble des acteurs impliqués dans le réseau de valeur du PSS
- G est la matrice d'implication des acteurs (A) par rapport aux fonctions (F).
- H est la matrice de l'impact potentiel des acteurs (A) sur les enjeux de soutenabilité (E).
- C est la matrice de l'impact potentiel des fonctions (F) sur les enjeux de soutenabilité (E)

Durant l'étape de conception, différents scénarios méritent d'être définis et explorés avant de converger vers un nombre plus restreints de scénarios qui seront alors considérées comme les plus pertinents à être poursuivis selon les critères de l'aide à la décision. L'ensemble des scénarios peut-être défini par l'équation 20, tel que :

$$S = \{S_z\}_{z=1..n} \quad \text{Équation 21}$$

Où :

- S représente l'ensemble des scénarios de conception définis
- S_z représente le scénario de conception z
- z correspond à l'indice du scenario de conception
- n correspond au nombre total de scénarios de conception

Dans la méthode proposée, les scénarios représentent un point critique car ils sont l'unité de comparaison au regard des enjeux de soutenabilité avec pour but de faciliter la mise en lumière des scénarios les plus soutenables.

2.2. Etape 5 : Evaluer les scénarios

L'objectif de cette phase est d'évaluer les scénarios précédemment définis à l'issu de l'étape 4 au regard de la soutenabilité via des indicateurs qualitatifs. La finalité de cette

évaluation de la soutenabilité des scénarios est de fournir à chaque acteur son impact respectif sur la soutenabilité. Cette étape est schématisée par la Figure 18.

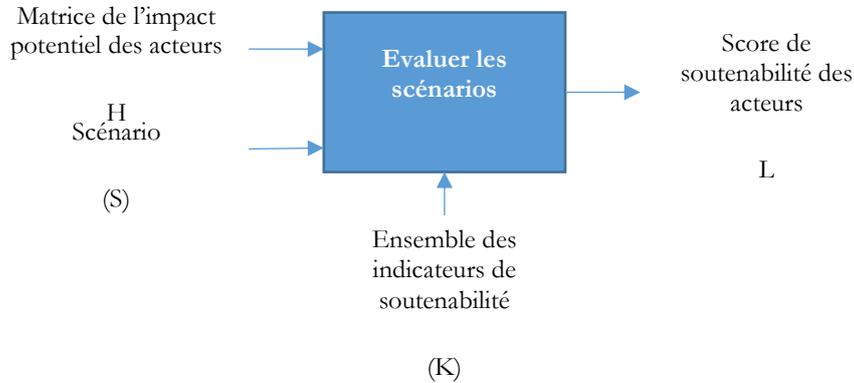


Figure 18 : Schéma méthodologique de l'étape 5

Une liste prédéfinie de 81 indicateurs a été établie à travers une analyse de la littérature sur la soutenabilité provenant de différents domaines scientifiques (ISO26000, OHSAS18001, SA8000, Chou, 2012, Global Reporting Initiative, Vezzoli, 2014). Ces indicateurs ont été sélectionnés et construits selon plusieurs critères afin de faciliter leur évaluation. Fondamentalement, la sélection du jeu d'indicateurs a suivi deux principes :

1. Pertinence dans le processus de prise de décision au sein du processus de conception,
2. Compréhension quant à la capacité de fournir une estimation de la valeur de l'indicateur.

Les 81 indicateurs sont classifiés dans les 18 classes correspondant aux enjeux de soutenabilité, disponibles en ANNEXE B.

La méthode sélectionne un sous-ensemble d'indicateurs propre à chacun des acteurs impliqués dans le réseau de valeur des scénarios de PSS définis. Chaque acteur évalue ensuite ses indicateurs pour les scénarios de conception dans lesquels il est impliqué. Ces tâches sont précisées dans les sections suivantes.

2.2.1. Construction du sous-ensemble des indicateurs de soutenabilité

Il s'agit de construire, pour chaque acteur, le sous-ensemble d'indicateurs correspondant aux enjeux de soutenabilité impactés par cet acteur. La matrice des impacts potentiels H est utilisée pour ne sélectionner que les enjeux où l'acteur est impliqué. Ce sous-ensemble est exprimé par l'Équation 22:

$$I_i = \{I_{kd}^i\}_{k=1..e; d=1..c_k} \mid h_k^i \neq 0 \quad \text{Équation 22}$$

Où

- I_i est le sous-ensemble des indicateurs soumis à l'acteur i .
- I_{kd}^i est le d indicateur de l'enjeu de soutenabilité k
- e est le nombre d'enjeux de soutenabilité
- c_k est le nombre d'indicateurs de l'enjeu de soutenabilité k .

2.2.2. Evaluation des indicateurs par les acteurs

La valeur des indicateurs est estimée en se basant sur une auto-évaluation de l'acteur. Deux échelles d'évaluation des indicateurs sont utilisées : (1) une échelle à quatre modalités (faible, moyen, élevé, très élevé) ou (2) une échelle à deux modalités (oui, non). Dans un souci d'homogénéisation de l'ensemble des indicateurs, les estimations sont quantifiées de telle sorte qu'un faible impact sur la soutenabilité sera gratifié d'une note élevée et inversement. Cela est réalisé en utilisant les échelles de correspondance suivantes :

- Une échelle à quatre modalités (0, 1, 2, 3) où « 0 » désigne un impact significatif sur la soutenabilité et « 3 » désigne pas ou peu d'impact sur la soutenabilité, et « 1 » et « 2 » étant des niveaux intermédiaires ».
- Une échelle à deux modalités (0, 3) où « 0 » désigne un impact significatif sur la soutenabilité et « 3 » désigne pas ou peu d'impact sur la soutenabilité.

On obtient alors un vecteur J^i , par l'Équation 23, constitué des valeurs quantitatives des indicateurs vI_{kd}^i , tel que :

$$J^i = (vI_{kd}^i)_{k=1..e; d=1..c_k} \quad \text{Équation 23}$$

Où

- vI_{kd}^i est le score de soutenabilité de l'acteur i de l'indicateur d de l'enjeu de soutenabilité k , $vI_{kd}^i \in \{0,1,2,3\}$.
- e est le nombre d'enjeux de soutenabilité.
- c_k est le nombre d'indicateurs associés à l'enjeu de soutenabilité k .

Pour chaque acteur A_i , les valeurs quantifiées des indicateurs vI_{kd}^i sont agrégées par une moyenne afin d'aboutir à un score L_k^i mesurant la soutenabilité de l'acteur A_i par rapport à l'enjeu de soutenabilité Ek (Équation 24).

$$L_k^i = \frac{\sum_{d=1}^{c_k} vI_{kd}^i}{c_k}, \quad k \in \{1..e\} \quad \text{Équation 24}$$

Où

- vI_{kd}^i est le score de soutenabilité de l'acteur A_i pour l'indicateur I_{kd}^i ; avec $vI_{kd}^i \in \{0,1,2,3\}$.
- c_k est le nombre d'indicateurs associés à l'enjeu de soutenabilité Ek .
- e est le nombre d'enjeux de soutenabilité

A ce moment de la méthode, les impacts potentiels h_k^i et les scores de soutenabilité L_k^i sont calculés pour chaque acteur du réseau de valeur du PSS. Cela fournit des informations précieuses pour évaluer la soutenabilité d'un scénario de PSS.

Les étapes 4 et 5 seront déroulées itérativement et à plusieurs reprises pendant la conception car plusieurs combinaisons alternatives de fonctions et d'acteurs peuvent être identifiées et donc aboutir à plusieurs scénarios. Ce déploiement a été réalisé via un outil informatique afin de faciliter et de rendre plus rapide l'enchaînement de ces étapes.

2.3. Etape 6 : Appliquer la méthode d'analyse multicritère

L'identification des fonctions du PSS et des acteurs impliqués aboutit habituellement à plusieurs alternatives de scénarios de conception. Afin de converger vers les scénarios réalisables, l'équipe de conception doit sélectionner les scénarios acceptables.

Les étapes 4 et 5 ont permis d'identifier pour chaque acteur et pour chaque scénario, un potentiel d'impact et un score de soutenabilité liés à des enjeux, issus de l'étape 4, qui correspondent à une importance relative de ces enjeux et des scores de soutenabilité liés à ces mêmes enjeux. Le processus de prise de décision à propos de la sélection des scénarios est une étape complexe car il nécessite de prendre en compte les évaluations de chaque acteur pour l'ensemble des scénarios et ces évaluations sont basées sur plusieurs critères.

Pour atteindre cet objectif, la méthode ELECTRE I est mobilisée. La justification du choix de la méthode, de ses principes et de son développement sont présentés dans la PARTIE I de ce mémoire. Cette méthode permet de pouvoir diviser les scénarios en deux classes, les satisfaisants et les non-satisfaisants et donc d'appliquer une sélection. Cette étape est résumée par la Figure 19.

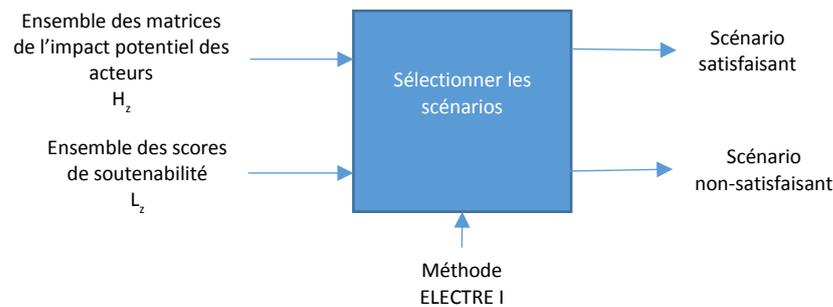


Figure 19 : schéma méthodologique de l'étape 6

2.3.1. Application de la méthode d'analyse multicritère

La méthode ELECTRE I, nécessite de travailler avec des valeurs ordinales, ceci justifie de fait l'équivalence réalisée lors de l'étape précédente pour transformer les échelles qualitatives en score de soutenabilité.

Ces valeurs ordinales sont rassemblées dans la matrice de transformation pour chaque acteur qui est présentée dans l' $\mathbf{A} = \{\mathbf{A}_i\}_{i=1..a}$ Équation 16. Il faudra alors appliquer la méthode ELECTRE I autant de fois qu'il y a d'acteurs identifiés lors de la construction des scénarios.

La soutenabilité d'un scénario donné, du point de vue d'un acteur donné A_i , est évaluée grâce à l'impact potentiel normalisé de cet acteur (pondération globale notée $\rho_{i,k}$, $k \in \{1..e\}$) et à son score de soutenabilité (L_k^i , $k \in \{1..e\}$). Ces deux paramètres sont mobilisés comme données d'entrée pour le calcul des indices de concordances et de discordances nécessaires au déroulement de la méthode ELECTRE I. La pondération globale de l'enjeu de soutenabilité E_k est calculé par l'Équation 25 telle que :

$$\rho_{i,k} = \frac{\sum_{z=1}^n h_{i,k,z}}{\sum_{k=1}^e \rho_{i,k}} \quad \text{Équation 25}$$

Où

- $\rho_{i,k}$ et la pondération globale de l'enjeu de soutenabilité E_k pour l'acteur A_i .

- $h_{i,k,z}$ est le potentiel d'impact de l'acteur A_i de l'enjeu de soutenabilité E_k pour le scénario S_z
- n est le nombre de scenarios développés
- e est le nombre d'enjeux de soutenabilité

Pour rappel :

- $E^+(S_b, S_c) = \{k \in \{1,2, \dots, e\} | L_k^b > L_k^c\}$: l'ensemble des enjeux de soutenabilité pour lesquels le scénario S_b est plus soutenable que le scénario c .
- $E^=(S_b, S_c) = \{k \in \{1,2, \dots, e\} | L_k^b = L_k^c\}$: l'ensemble des enjeux de soutenabilité pour lesquels le scénario b est aussi soutenable que le scénario c .
- $E^-(S_b, S_c) = \{k \in \{1,2, \dots, e\} | L_k^b < L_k^c\}$: l'ensemble des enjeux de soutenabilité pour lesquels le scénario b est moins soutenable que le scénario c .
- $\rho^+(S_b, S_c) = \sum \rho_k, k \in E^+(S_b, S_c)$: la somme des pondérations des enjeux de soutenabilité inclus dans E^+ .
- $\rho^=(S_b, S_c) = \sum \rho_k, k \in E^=(S_b, S_c)$: la somme des pondérations des enjeux de soutenabilité inclus dans $E^=$.
- $\rho^-(S_b, S_c) = \sum \rho_k, k \in E^-(S_b, S_c)$: la somme des pondérations des enjeux de soutenabilité inclus dans E^- .

$$\rho = \rho^+(S_b, S_c) + \rho^=(S_b, S_c) + \rho^-(S_b, S_c)$$

La relation de surclassement φ est définie par les Équation 26, Équation 27 et Équation 28:

$$S_b \varphi S_c \Leftrightarrow f(x) = \begin{cases} C_{bc} \geq c & \text{(test de concordance)} \\ D_{bc} \leq d & \text{(test de non - discordance)} \end{cases} \quad \text{Équation 26}$$

$$C_{bc} = \frac{\rho^+(S_b, S_c) + \rho^=(S_b, S_c)}{\rho} \quad \text{Équation 27}$$

$$D_{bc} = \begin{cases} 0, & \text{si } E^-(S_b, S_c) = \emptyset \\ \frac{1}{3} * \text{Max} \{L_k^b - L_k^c\}; & k \in E^-(S_b, S_c) \end{cases} \quad \text{Équation 28}$$

Où

- 3 est l'amplitude de l'échelle associée aux enjeux de soutenabilité
- c est le seuil de concordance. La valeur de c est fixée par l'équipe d'évaluation mais il est recommandé de la fixer entre 0,5 et 1. Plus la valeur de c est haute plus la relation de surclassement est fiable.
- d est le seuil de discordance. La valeur de d est également fixée par l'équipe d'évaluation mais il est recommandé de la fixer entre 0 et 0,5.

Une fois les relations de surclassement identifiées, il est possible de définir les deux sous-ensembles, (S^+) et $(S \setminus S^+)$, de l'ensemble des scénarios (S) tels que :

- Tout scénario du sous-ensemble $(S \setminus S^+)$ soit surclassé par au moins un scénario appartenant à l'ensemble (S) ; Il est alors considéré comme non-satisfaisant.
- Tous les scénarios du sous-ensemble (S^+) sont incomparables entre eux ; ils sont considérés comme satisfaisants.

Afin de visualiser les liens de surclassement entre les différents scénarios, la méthode ELECTRE I préconise d'utiliser le graphe de surclassement. Ce type de graphe, est présenté par la Figure 20, par deux exemples. Ces graphes montrent, par exemple que seuls les scénarios 1 et 3 sont satisfaisants car ils ne sont surclassés par aucun autre scénario.

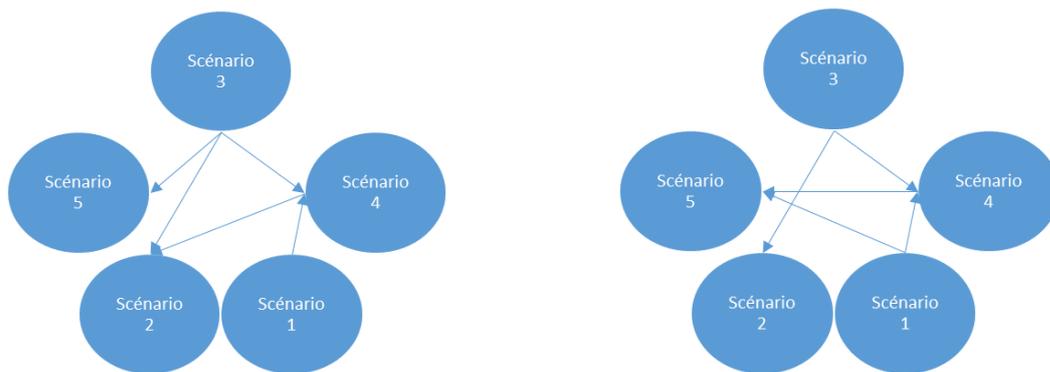


Figure 20 : exemples de graphe de surclassement résultant de l'application de la méthode ELECTRE I

Ainsi dans les deux exemples de la Figure 20, les deux sous- (S^+) et $(S \setminus S^+)$, peuvent être énoncés comme :

- $(S \setminus S^+) = \{2 ; 4 ; 5\}$
- $(S^+) = \{1 ; 3\}$

En construisant ces graphes de surclassement pour chaque acteur considéré, on exprime le point de vue de chacun d'entre eux sur la soutenabilité des solutions préconisées. A ce stade, il existe deux possibilités :

La méthode d'analyse multicritère a permis de mettre en évidence un ou plusieurs scénarios satisfaisants pour tous les acteurs.

Ou bien, aucun scénario ne fait consensus pour l'ensemble des acteurs, il est alors nécessaire de mettre en place un mécanisme de recherche de compromis.

2.4. Etape 7 : Recherche de compromis et négociation multi-acteurs

Il est possible que le résultat de l'analyse multicritère ne fournisse pas de scénario acceptable. Cela peut être le cas lorsqu'aucun scénario ne fait consensus pour les acteurs. En cette absence de consensus, la démarche propose de ne pas s'arrêter sur un scénario qui ne serait pas considéré comme satisfaisant, mais d'engager une démarche collaborative de re-conception d'un nouveau scénario. Afin d'aider les équipes d'évaluation et de conception à définir un scénario de conception de PSS, une étape supplémentaire de négociation multi-acteurs peut être implémentée afin de capitaliser sur les scénarios déjà définis et évalués.

2.4.1. Choix d'une méthode de construction de compromis

La recherche de compromis ayant pour but de reconcevoir un scénario de façon collaborative, seules les méthodes de résolution plutôt démocratiques ont été approfondies. Cette approche repose sur le partage des connaissances entre les acteurs et donc l'augmentation des connaissances de chacun notamment dans la prise en compte des enjeux propres aux autres acteurs (Bars, 2003).

Il est important d'identifier, au préalable du choix de la méthode, deux caractéristiques structurantes du problème (Koning et al., 1998) :

- 1) L'objet du conflit : qui est dans la méthode proposée, le scénario de conception de PSS.
- 2) Les agents impliqués : qui est représenté dans la méthode proposée par l'équipe d'évaluation.

Il existe ensuite une typologie des méthodes rangées en deux classes : les méthodes centralisées et les méthodes décentralisées. La différence se faisant par le fait qu'il existe ou non, un mécanisme de centralisation de l'objet de la négociation.

Les méthodes centralisées

Les méthodes centralisées ont la particularité de passer par un intermédiaire, qui peut être un agent décideur ou un agent coordinateur. L'appel d'offres est une méthode centralisée basée sur une hiérarchie faisant appel à un agent décideur, celui qui envoie l'appel d'offre, et ensuite les acteurs font des propositions. Ce genre de méthode ne correspond pas à l'objectif de cette étape.

Une autre méthode existante fait appel à un médiateur, l'intermédiaire n'est plus décideur mais il coordonne la négociation entre les acteurs. La méthode PERSUADER propose une négociation via un agent médiateur qui a pour rôle de trouver une solution via le mécanisme itératif suivant : proposition / refus par les acteurs / justification par les acteurs du refus (Sycara, 1992). Le médiateur acquiert ainsi une connaissance des attentes de chaque acteur par les itérations successives. Ce type d'approche est applicable en présence d'acteurs coopératifs ou non (Kreifelts and von Martial, 1991)

Les méthodes décentralisées

Les méthodes décentralisées sont basées sur les acteurs proactifs dans la démarche. Ainsi, des agents négociateurs traitent directement entre eux. Ces méthodes fonctionnent sur le même mécanisme : un agent initiateur (acteur impliqué) créé au départ de la négociation un objet initial (un scénario de conception).

Les méthodes décentralisées permettent d'aboutir à deux résultats :

- Changement des états internes des acteurs : ce qui modifie les critères d'évaluation et les pondérations associées.
- Modification de l'espace de négociation : ce qui nécessite de créer un nouveau scénario de conception.

L'objectif de cette étape de recherche de compromis est d'améliorer les scénarios existants. Donc les méthodes visant à changer les états internes, ne peuvent aboutir dans notre cas qu'à une dégradation du niveau d'exigence du mécanisme d'évaluation. Les méthodes de modification de l'espace de négociation sont alors les seules méthodes permettant de répondre au problème posé par la méthode.

Les méthodes heuristiques sont basées sur un ensemble d'algorithmes issus de la théorie de l'utilité multi-attribut. Chaque acteur impliqué est défini par une stratégie de négociation et des tactiques pour accomplir ces stratégies (Faratin et al., 2000) Ces méthodes sont basées sur des heuristiques et des algorithmes. Ces méthodes sont essentiellement utilisées dans des approches automatisées avec des agents homogènes, ce qui est notamment le cas dans le domaine financier (Matos et al., 1998).

Par ailleurs, il existe également les méthodes de recherche négociée qui impliquent des acteurs non hostiles entre eux. Elles permettent la mise en place d'un compromis de façon itérative par élimination des scénarios ne correspondant pas à un consensus avec les acteurs. La mise en œuvre de cette approche est basée sur la satisfaction des contraintes.

De ces méthodes, la recherche négociée, représenté par la méthode TEAM, méthode développée par Lander and Lesser (1993), semble être celle qui correspond le mieux à la problématique. Elle permet, grâce à un processus incrémental, de concevoir un scénario acceptable par tous. Ce processus est un cycle partant d'une proposition émise par un acteur, celle-ci est évaluée par les autres acteurs qui, s'ils rejettent la proposition, expliquent les raisons de leur refus et peuvent proposer à leur tour une contre-proposition. Ce cycle est répété jusqu'à trouver une solution satisfaisante pour l'ensemble des acteurs.

2.4.2. Application et adaptation de TEAM pour la soutenabilité de scénarios de conception

La méthode TEAM est appliquée afin de définir un nouveau scénario lorsque l'application de la méthode d'analyse multicritère réalisée à l'étape 6 n'a pas été concluante.

L'implémentation de cette méthode permet donc d'aider les acteurs dans la définition d'un nouveau scénario satisfaisant pour l'ensemble des acteurs de façon guidée et efficace afin que le processus de conception n'aboutisse pas à une impasse du point de vue de la soutenabilité. Cela permet notamment de mettre l'ensemble des acteurs avec un objectif commun de co-construction et que les acteurs ne soient pas dans un jeu d'opposition en défendant uniquement leurs propres intérêts. Cela est favorisé par la mise en commun des intérêts et connaissances de chacun à propos du système et la recherche d'un consensus pour que l'objectif du mécanisme de négociation soit considéré comme atteint. En conséquence, l'application de TEAM consiste à spécifier un processus multi-acteurs, progressif et itératif pour la construction d'un scénario de compromis.

Le processus de recherche de compromis se déroule en trois étapes, schématisé par la Figure 21

- 1) Sur la base des évaluations des scénarios précédents (schématisé dans la Figure 21 par les quatre rectangles du haut), un membre de l'équipe de conception développe une nouvelle proposition qu'il soumet aux autres membres (schématisé dans la Figure 21 par le rectangle au-dessus du losange).
- 2) Les autres membres évaluent la proposition en fonction de leurs propres critères (schématisé par le losange).
- 3) Deux alternatives sont alors possibles :
 - a. Un agent rejette la nouvelle proposition car celle-ci n'est toujours pas considérée comme satisfaisante au regard de ses propres critères, il détaille les raisons de son rejet et propose alors une contre-proposition. Les étapes 1 et 2 sont réitérées jusqu'à arriver à la situation 3) b)
 - b. L'évaluation de ce nouveau scénario est satisfaisante pour l'ensemble des acteurs et donc la phase 2 peut-être comme terminée.

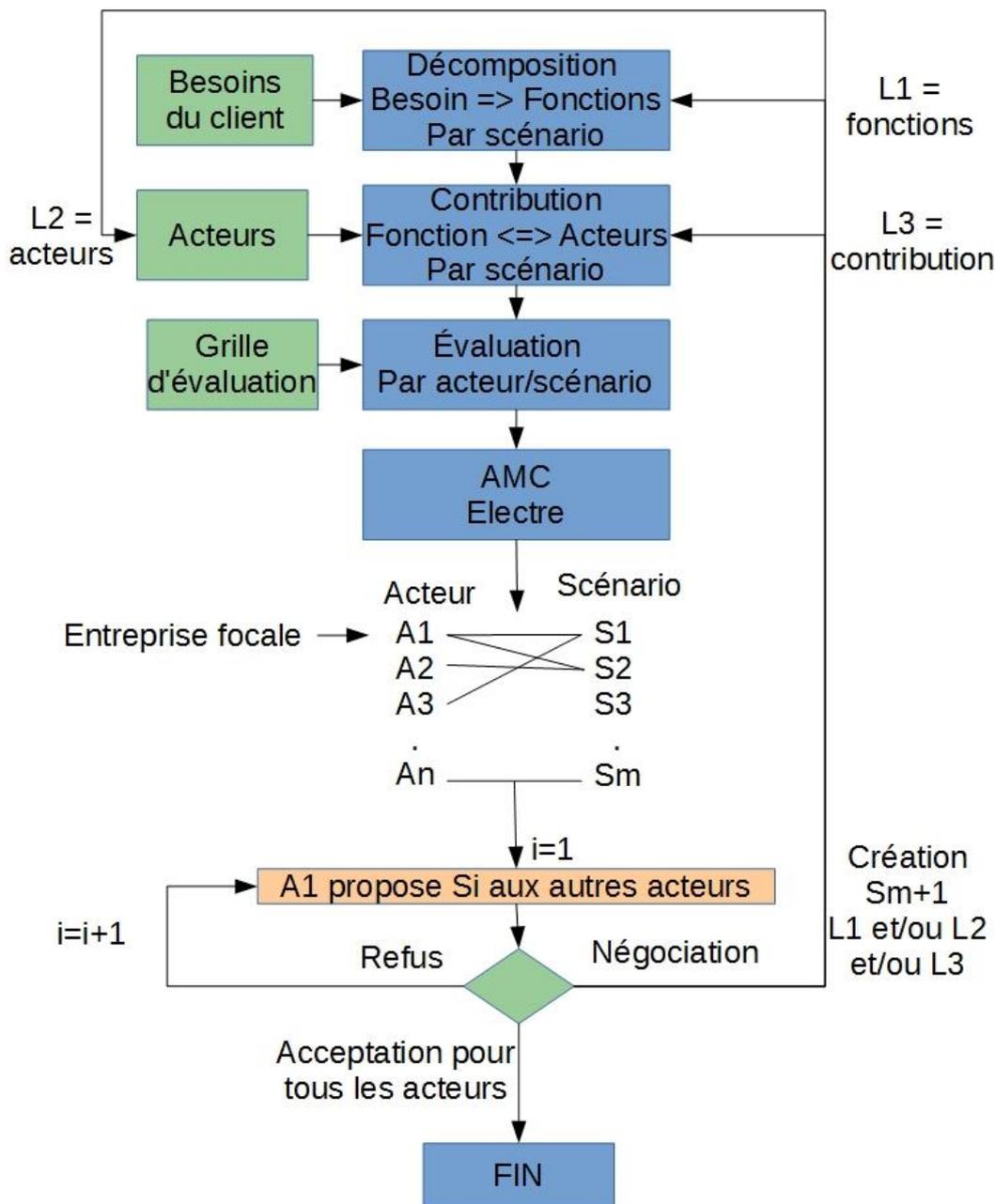


Figure 21 : schéma de la recherche de compromis

Afin de pouvoir mettre en place cette méthode de compromis et d'atteindre un résultat exploitable, trois leviers d'action influent sur la soutenabilité des scénarios :

- L'ensemble des Acteurs A : le fait d'introduire ou d'exclure un acteur impacte nécessairement la soutenabilité.
- L'ensemble des Fonctions F : la réponse aux besoins du client par la réalisation de ces fonctions peut également avoir un impact sur la soutenabilité.

- L'implication des acteurs dans la réalisation des fonctions G : Un changement dans la réalisation des fonctions par les acteurs, change l'impact sur la soutenabilité de cet acteur.

Grace à l'application et l'utilisation de ces trois leviers lors de la mise en place de la méthode TEAM, l'équipe de conception peut éviter que le processus s'enferme dans une opposition entre points de vue, en faisant évoluer la formulation du scénario en lui-même. Ceci s'appuie sur les informations des étapes précédentes afin de garantir le processus d'amélioration continue.

3. Conclusion du chapitre 2

L'évaluation de la soutenabilité et la sélection des scénarios de conception de PSS par la méthode proposée contient une traduction des besoins du client en catégories de services à l'aide de la matrice de support de la génération de concept (*CGSM*). La méthode se trouve ainsi générique afin de permettre une applicabilité à différents contextes industriels. Cependant, la méthode propose une généricisation qui dépasse le cadre de cette matrice de support, en la complétant par l'intégration de la soutenabilité dans un processus général d'aide à la conception.

Avec le cadre des dix-huit enjeux de soutenabilité, la méthode permet de s'extraire d'une agrégation totale qui donnerait un critère unique visant une durabilité faible. Cela prend en compte le fait que les enjeux de soutenabilité ne sont pas équivalents et donc non substituables entre eux.

Le mécanisme d'évaluation est réalisé au moyen d'une liste d'indicateurs liés aux enjeux de soutenabilité afin d'évaluer les piliers du développement durable (social, économique et environnemental). Le résultat final de l'évaluation repose donc sur les enjeux de la soutenabilité grâce auxquels chaque acteur du réseau de création de valeur du PSS pourra analyser et comparer les scénarios de conception de PSS dans lesquels il est impliqué grâce à l'analyse multicritère.

La sélection des scénarios de conception de PSS acceptables d'un point de vue de la soutenabilité présente deux résultats possibles, selon que l'analyse multicritère a permis ou non d'identifier un ou plusieurs scénarios de conception de PSS acceptable pour l'ensemble des acteurs. Dans le but d'aider l'équipe de conception dans sa prise de décision et si l'analyse multicritère n'aboutit pas à une sélection de scénarios, alors une étape supplémentaire est mise en œuvre pour favoriser l'émergence d'un scénario acceptable, par l'application de la méthode de négociation TEAM pour la construction de compromis.

Conclusion de la partie II

Après avoir défini le cadre général de la méthode et les principes nécessaires à sa réussite, une description plus détaillée du déroulement des phases 1 et 2 a permis de mettre en œuvre une méthode permettant de sélectionner les scénarios de conception de PSS. Cette méthode mobilise des méthodes et outils identifiés comme pertinents : cadre de soutenabilité, matrice de support de génération de concept, hiérarchie fonctionnelle, etc.

Tout d'abord, un cadre méthodologique a été présenté lors du chapitre 5. Ce cadre permet de faciliter l'intégration de la démarche d'évaluation de la soutenabilité au sein du processus de conception et par conséquent faciliter également sa mise en œuvre et son appropriation. Ce chapitre a également permis d'introduire les principes et prérequis nécessaires dans le but de répondre aux enjeux identifiés lors de l'état de l'art (Partie I de ce manuscrit), à savoir, évaluation de la soutenabilité des systèmes produits-services en contexte de conception préliminaire.

Ensuite, le chapitre 6 s'est attelé à décrire de manière plus détaillée la méthode proposée. La formulation rigoureuse d'un point de vue scientifique de la méthode vise à remplir un double objectif :

- 1) Faciliter l'évaluation de la cohérence de la méthode ainsi proposée.
- 2) Favoriser la réutilisation et l'intégration de la méthode au sein de méthodes et outils de conception.

Ce premier objectif a notamment rendu possible le développement d'un prototype informatique comme point de départ à des développements futurs. Ce prototype sous format Excel a ainsi pu être le support des applications de la méthode aux études de cas démontrés dans la partie suivante.

PARTIE III : APPLICATION AUX CAS D'ETUDE

<u>Introduction</u>	121
<u>Chapitre 7 : Projet Ecobel</u>	123
1. <u>Objectifs</u>	123
2. <u>Méthode</u>	124
3. <u>Application de la méthode</u>	125
4. <u>Conclusions</u>	139
<u>Chapitre 8 : Projet CleanRobot</u>	143
1. <u>Objectifs de l'étude de cas</u>	143
2. <u>Démarche générale adoptée</u>	143
3. <u>Application de la méthode</u>	144
4. <u>Interprétations et conclusions</u>	156
<u>Conclusion de la partie III</u>	159
<u>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</u>	161
1. <u>Apport de la méthode</u>	161
2. <u>Perspectives</u>	162
3. <u>Conclusion générale</u>	165

Introduction

Deux applications ont été réalisées afin d'illustrer et de valider l'applicabilité de la méthode d'évaluation de la soutenabilité des scénarios dans une optique d'aide à la décision en conception.

Les cas d'étude ont permis le déroulement de la méthode de l'identification des besoins génériques à l'analyse multicritère. La négociation multi-acteurs a été explorée pour la première étude de cas.

Au travers ces cas d'étude, il est possible de voir comment la méthode aide les concepteurs dans l'intégration des enjeux de soutenabilité au sein du processus de conception et de leur évaluation par le biais des scénarios de conception. La méthode a été appliquée à deux études de cas avec des objectifs et des résultats différents :

- Pour Ecobel, les objectifs étaient de consolider les acquis de l'entreprise par une méthode structurée afin de valider ou non la stratégie de l'entreprise d'un point de la soutenabilité.
- Pour CleanRobot, la méthode a permis de définir les scénarios prioritaires à approfondir d'un point de la soutenabilité.

Cette troisième partie correspond aux résultats des deux dernières phases de la Design Research Methodology (ED-II et EP-II) qui ont pour objectifs de mettre en œuvre et valider la méthode proposée (son usage et son utilité) ; elle s'appuie sur l'application de la méthode à deux études de cas.

Chapitre 7 : Projet Ecobel

L'entreprise Ecobel, qui sert de premier cas d'étude, propose une solution modulaire de pommeau de douche diminuant le risque de contamination sanitaire (tel que la légionellose) à destination des établissements de santé (hôpitaux, cliniques, ...). Cette solution offre également une reprise du produit en fin de vie afin de recycler la matière, ainsi qu'un pommeau consommant moins d'eau lors de son utilisation (comparativement au produit actuellement utilisé). De plus, cette solution se base sur un tissu d'acteurs locaux et solidaires dans une approche de circuit court et d'insertion sociale. Le projet Ecobel s'inscrit dans un contexte social/sociétal, économique, environnement et sanitaire.

En effet, les maladies nosocomiales sont devenues un enjeu sanitaire majeur pour les hôpitaux, il est primordial pour les hôpitaux de réduire le risque de contamination au minimum afin de garantir la santé du patient. En outre, la consommation d'eau ainsi que son chauffage sont devenus des postes de dépenses non négligeables, du fait de l'augmentation du prix de l'énergie et des moyens nécessaires au traitement de l'eau. De plus, la prise de conscience environnementale globale de notre société pousse les organismes publics et privés à une meilleure gestion et à une réduction des déchets qu'ils produisent et une réduction globale de leur charge environnementale.

L'application de la méthode au projet Ecobel vise à démontrer l'applicabilité de la méthode proposée dans un contexte industriel pour la sélection et la négociation multi-acteurs dans le but de concevoir un scénario de PSS soutenable. Elle s'appuie sur la démarche de conception d'une nouvelle offre commerciale de PSS initiée par l'entreprise Ecobel.

1. Objectifs

Les objectifs de cette première application de la méthode sont multiples et portent sur différents horizons de temps. Du point de vue d'Ecobel, l'implémentation de la méthode doit aboutir à l'évaluation de différents scénarios de conception afin de fournir aux différents acteurs et notamment Ecobel, des informations sur la soutenabilité des scénarios conçus afin de les aider dans la prise de décision lors de la conception de ces systèmes.

Ces scénarios sont principalement basés sur un produit, la douchette « Oligo ». Ce choix est une volonté du dirigeant de développer cette gamme de produit afin de la faire évoluer vers un modèle d'économie de fonctionnalité.

D'un point de vue de la recherche, les objectifs sont liés directement à l'amélioration et la validation de ce travail de thèse : Identification des enjeux de soutenabilité ; Définition des scénarios ; Evaluation des scénarios ; Sélection des scénarios acceptables ; validation de l'applicabilité de la méthode sur un cas simple puis amélioration du processus d'évaluation proposé.

L'étude de cas a été réalisée à partir de données collectées lors d'un projet antérieur à ce travail de thèse, lors d'entretiens avec le client et l'entreprise focale et de réunions de travail réalisées en interne au laboratoire. Le périmètre de l'étude de cas implique différents acteurs remplissant des fonctions tout au long de la chaîne de création de valeur. La toute petite entreprise (TPE) Ecobel représente l'entreprise focale, elle est également en charge de la conception et de la commercialisation des offres (produits et activités de service. L'ADAPEI prend en charge la production et la gestion de la fin de vie des produits. La Clinique, qui est le client, est considérée comme le bénéficiaire des produits et services.

Cette étude de cas présente l'avantage d'être un cas assez simple, notamment dans un objectif de tester la faisabilité de la méthode. En effet, le système technique considéré n'est pas un système complexe. De plus, Ecobel est une mono-entreprise, constituée du seul dirigeant, l'équipe de conception se réduit donc à sa seule personne.

2. Méthode

Le projet Ecobel a été initié par l'entreprise éponyme suite à l'ambition du dirigeant de développer une offre de système produits-services pour répondre aux problématiques auxquels les établissements de santé sont confrontés lors de la toilette des patients. Il fait suite à un projet de l'entreprise de développement d'un produit et d'un modèle d'affaire associé, projet initié depuis plusieurs années.

Le déroulement de ce cas d'étude est articulé en trois phases. Dans un premier temps, l'appropriation des enjeux du contexte industriel. Cette phase a nécessité différentes rencontres avec le client, l'établissement de santé et l'entreprise focale, Ecobel. Dans un deuxième temps, la construction de la méthode et son application a été réalisé. Cela a principalement impliqué des experts académiques ainsi que l'entreprise focale lors de phases de validation. Dans un dernier temps, l'étape de négociation multi-acteurs (étape 7) a été validée par le biais d'un jeu de rôle organisé avec des experts académiques. L'équipe de conception est ainsi constituée du dirigeant de l'entreprise Ecobel et d'un

designer, l'ADAPEI et la clinique n'étant que consultés ponctuellement. L'équipe d'évaluation est composée du dirigeant de l'entreprise Ecobel et de chercheurs académiques qui ont pour rôle de représenter les différents acteurs (ADAPEI, Clinique,...) lors de l'étape de négociation. Cette configuration permet de faciliter la mobilisation et la disponibilité des acteurs.

3. Application de la méthode

Afin de remplir les objectifs d'évaluation, d'identification et de développement de la conception d'une offre de PSS soutenable, les deux phases et les sept étapes associées de la méthode présentée dans la Partie II ont été déroulées. Ce chapitre présente les résultats obtenus pour Ecobel.

3.1. Phase 1 : identification des enjeux de soutenabilité

L'objectif de cette phase est double, premièrement d'identifier les enjeux de soutenabilité qui serviront de base à l'évaluation des scénarios et deuxièmement de calculer les potentiels de soutenabilité associés à ces enjeux.

3.1.1. Etape 1 : identifier les besoins génériques

L'identification des besoins génériques passe d'une part par la détermination des besoins du client. Ainsi différentes réunions avec le client ont permis d'identifier ses besoins. Le Tableau 14 présente les quatre besoins émis par le client. Ces besoins représentent le problème que devra résoudre le système qui sera conçu.

Tableau 14 : Besoins du client dans l'étude de cas d'Ecobel

B	Besoin du client	Description
B₁	laver le patient	le client a besoin de fournir au patient un moyen de se laver ou d'être lavé
B₂	maintenir le système	Le système mise en place doit répondre à la volonté du client d'avoir disponibilité temporelle, à court terme (dysfonctionnement) et à long terme (sur l'ensemble du contrat)
B₃	réduire le risque sanitaire	Le système doit permettre de réduire le risque de contamination sanitaire existant lors de la toilette des patients
B₄	maîtriser le coût global	Le système ne doit pas simplement prendre en compte la contrainte économique auquel le client fait fasse mais il doit mettre en place des mécanismes capables de relâcher cette contrainte

Ces quatre besoins sont ensuite traduits en besoins génériques. Pour cela, la matrice relationnelle, présenté dans la section 1 du chapitre précédent, est utilisée. Ainsi, la traduction des besoins du client en besoins génériques obtenue est présentée par la matrice R. Tableau 15 représente le livrable de cette étape. Ainsi, le besoins B₁ « laver la patient » peut se traduire par deux besoins génériques : « utilisation stable » et « utilisation facilitée ».

Tableau 15 : Livrable de l'étape 1 : Représentation de la matrice de généricisation des besoins du client (R).
(Par souci de confort visuel et de facilité de compréhension, les cases vides sont égales à 0)

Besoins du client		Besoins Génériques													
		Prix faible à l'achat ou l'usage	Facilité d'achat	⋮	Réduction des ressources	Utilisation personnalisée	Utilisation optimisée	Meilleurs performances	Faible maintenance	Utilisation flexible	Utilisation longue	Utilisation stable	Utilisation facilitée	⋮	Ajout de valeur ajoutée par l'élimination des déchets
B ₁	laver le patient			...								1	1	...	
B ₂	maintenir le système			...				1						...	
B ₃	réduire le risque sanitaire			...			1				1			...	
B ₄	maîtriser le coût global	1		...	1		1							...	

3.1.2. Etape 2 : lier les besoins du client aux catégories génériques de services

La liaison des besoins du client aux catégories génériques de services consiste en la construction d'une matrice par le produit matriciel de la matrice R avec la matrice Z représentant la *Concept Generation Support Matrix (CGSM)*. Le Tableau 16 représente les liens construits entre les besoins du client et les catégories génériques de services.

Tableau 16 : Représentation de la matrice Q liant les besoins du client aux catégories génériques de services.
(Par souci de confort visuel et de facilité de compréhension, les cases vides sont égales à 0)

Catégories génériques de service		Besoins du client																
		Service de recyclage	Service de maintenance	Service de financement	Service de diagnostic	Service d'information	Service de consultation	Service d'éducation	Service d'installation	Service d'Agence	Service d'essai	...	Partage	Location	Cotisation aux droits d'utilisation	...	Utilisation de nouvelles technologies	Service modulaire
B₁	laver le patient		1		1					1		...			1	...	1	
B₂	maintenir le système											...	1		1	...	1	1
B₃	réduire le risque sanitaire		1		1				1			...				...	1	
B₄	maîtriser le coût global					1	1					...			1	...		

3.1.3. Etape 3 : lier les enjeux de soutenabilité aux besoins du client

Cette étape consiste à lier les besoins du client aux enjeux de soutenabilité par le biais des matrices établis lors des étapes précédentes et de la matrice de soutenabilité des catégories génériques de services.

La matrice Q est alors multipliée par la transposée de la matrice I, matrice relationnelle entre les enjeux de soutenabilité et les catégories génériques de service, consultable en ANNEXE B, pour donner lieu à la matrice U⁻¹, représentée par le Tableau 17.

Tableau 17 : Représentation du potentiel d'impact sur la soutenabilité des besoins du client (matrice U^{-1})

		SOCIAL						ECONOMIQUE						ENVIRONNEMENT					
		Emploi et condition de travail	Equité et justice entre les acteurs	Consommation durable/responsable	Insertion sociale	Cohésion sociale	Intégration dans le territoire	Compétitivité	Valeur ajoutée pour l'entreprise	Valeur ajoutée pour le client	Pérennisation de l'entreprise	Partenariat	Macro-économie	Optimisation de la vie	Réduction du transport	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction des déchets/valorisation	Biocompatibilité	Réduction de la toxicité
B₁	laver le patient	2	0	0	1	0	0	3	3	5	1	4	0	1	0	2	2	0	0
B₂	maintenir le système	2	1	0	1	0	0	3	3	6	0	3	0	2	0	2	1	0	0
B₃	réduire le risque sanitaire	3	0	1	1	0	0	3	3	4	0	1	0	2	0	2	2	0	0
B₄	maîtriser le coût global	1	1	0	0	0	1	2	1	6	0	2	0	1	0	0	0	0	0

Etant donné la complexité de prise de décision en se basant sur autant de critères et la disparité des impacts potentiels, une réduction de la matrice U^{-1} est réalisée afin de ne garder que les enjeux de soutenabilité les plus pertinents tout en ne négligeant aucun pilier.

Lors de sa construction, une situation insolvable automatique est apparue. En effet, les filtres ont permis d'identifier deux enjeux de soutenabilité pour le pilier social, trois pour le pilier environnemental et quatre pour le pilier économique. Le pilier économique est donc représenté de deux enjeux supplémentaires par rapport au pilier social, ce qui n'est pas toléré par les règles (seul un différentiel de un enjeu est toléré afin de ne pas sous-représenter un des trois piliers par rapport aux deux autres.). Afin de régler cette impasse, plusieurs solutions ont été envisagées :

1. Sélectionner un enjeu social supplémentaire afin de respecter le différentiel limité à un enjeu, cela aurait amené un enjeu avec un impact cumulé de 2

dans la décision, ce qui au vu de la méthode, n'aurait eu aucune influence sur le résultat. Cette solution a donc été écartée.

2. Eliminer les deux enjeux économiques les moins impactant potentiellement, ce qui aurait amené l'enjeu de soutenabilité « valeur ajoutée pour le client » responsable à lui seul de plus d'un tiers du résultat. Cette solution a donc été écartée.
3. Garder l'ensemble des enjeux de soutenabilité du pilier économique. Ce qui amènerait le pilier économique à être surreprésenté, représentant près des deux-tiers de l'impact potentiel global. Cette solution a donc été écartée.
4. Parmi les enjeux économiques, n'entendre que 3, en éliminant un des enjeux parmi les deux enjeux potentiellement les moins impactants afin de respecter le différentiel entre les différents piliers. Cette solution a été retenue.

Le Tableau 18 : Représentation des enjeux de soutenabilité identifiés représente la matrice réduite U des enjeux retenus. L'enjeu « valeur ajoutée pour l'entreprise » a été sélectionné car la répartition des impacts potentiels était plus équitable.

Tableau 18 : Représentation des enjeux de soutenabilité identifiés et des potentiels d'impact associés

		Social		Economique			Environnement		
		Emploi et condition de travail	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour l'entreprise	Valeur ajoutée pour le client	Optimisation de la vie	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction des déchets/valorisation
Enjeux de soutenabilité									
Besoins du client									
B₁	laver le patient	2	1	3	3	5	1	2	2
B₂	maintenir le système	2	1	3	3	6	2	2	1
B₃	réduire le risque sanitaire	3	1	3	3	4	2	2	2
B₄	maîtriser le coût global	1	0	2	1	6	1	0	0

3.2. Phase 2 : Sélection des scénarios satisfaisants

Cette phase consiste à sélectionner les scénarios les plus soutenables au regard des enjeux identifiés précédemment. Pour cela, il est nécessaire de définir les scénarios afin de pouvoir les évaluer et d'analyser ces résultats. Ces scénarios ont été identifiés pendant des réunions de travail de l'équipe d'évaluation. Ils correspondent à des scénarios réalistes même si certains ne sont pas réels actuellement.

Ces cinq scénarios sont différenciés entre eux par l'architecture fonctionnelle (les fonctions [F]) ou l'architecture organisationnelle (les acteurs [A]). Voici une description succincte des différents scénarios :

- Scénario 1 : Vente classique de pommeaux de douche, reprise en fin de vie et recyclage
- Scénario 2 : Vente classique de gants de toilette, reprise en fin de vie et recyclage
- Scénario 3 : Offre de location des pommeaux de douche, reprise en fin de vie et recyclage
- Scénario 4 : Offre de location des pommeaux de douche, reprise en fin de vie et recyclage dont l'architecture organisationnelle est différente du scénario 3.
- Scénario 5 : Garantie de la possibilité de possibilité de laver le patient peu importe le produit utilisé.

Seuls les scénarios 3 et 4 partagent la même architecture fonctionnelle, la différenciation entre ces deux scénarios se fait d'un point de vue de l'architecture organisationnelle.

3.2.1. Etape 4 : définir les scénarios PSS

Cette étape consiste à définir les différents scénarios en en définissant les fonctions, les acteurs ainsi que les implications de ces derniers vis-à-vis des fonctions.

Tout d'abord chaque besoin du client sera décomposé en fonctions qui permettent, ensemble, de répondre à celui-ci. Cette décomposition est réalisée par l'équipe d'évaluation. Le Tableau 19 représente les fonctions envisagées pour chaque scénario afin de répondre aux besoins du client.

Tableau 19 : Matrice D recensant les listes des fonctions F conçues pour répondre aux scénarios et de leur contribution.

Besoin du client		Scenario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
B₁	Besoin de laver le patient	Fournir un jet suffisant pour la toilette	Décoller les particules indésirables	Fournir à l'utilisateur un service personnalisé	Fournir à l'utilisateur un service personnalisé	Fournir un moyen adapté au patient
			Rincer le mélange particule-savon	Fournir un jet suffisant pour la toilette	Fournir un jet suffisant pour la toilette	
B₂	Besoin de maintenir le système	Fournir un service de maintenance	Désinfecter le produit	Fournir un service de maintenance préventive	Fournir un service de maintenance préventive	Garantir une disponibilité du système
		Recycler le produit	Remplacer le produit	Prendre en charge la maintenance curative	Prendre en charge la maintenance curative	Faciliter la mise en place et le remplacement du système
		Identifier l'état de maintenance du système				
B₃	Besoin de réduire le risque sanitaire	Réduire le "bras mort" du produit	Diagnostiquer le comportement	Diagnostiquer le comportement	Diagnostiquer le comportement	Lier la fréquence de remplacement à l'occupation
			(In) former les agents	Surveiller le risque sanitaire	Surveiller le risque sanitaire	
B₄	Besoin de maîtriser le coût global	Economiser la matière première	Economiser la matière première	Economiser la matière première	Economiser la matière première	Economiser la matière première
		Economiser l'eau et l'énergie	Economiser l'eau et l'énergie	Economiser l'eau et l'énergie	Economiser l'eau et l'énergie	Economiser l'eau et l'énergie
		Economiser la main d'œuvre	Economiser la main d'œuvre	Economiser la main d'œuvre	Economiser la main d'œuvre	Economiser la main d'œuvre

Les acteurs impliqués dans les réseaux de valeur de chaque scénario sont ensuite identifiés et liés aux fonctions conçues selon leur implication. Le Tableau 20 représente les différents acteurs impliqués dans le réseau de valeur des différents scénarios de conception de PSS. Au-delà des rôles de chaque acteur définis dans l'introduction de ce chapitre, certains varient selon les scénarios considérés. Ainsi la clinique réalise la maintenance préventive et curative dans les scénarios 1 et 2 ; Uniquement la maintenance curative dans le scénario 3 et 4 et c'est l'ADAPEI, respectivement le fournisseur, qui prend en charge la maintenance préventive dans le scénario 3, respectivement le scénario 4 ; Et dans le scénario 5, la clinique ne prend plus en charge aucune maintenance, curative ou préventive, celles-ci étant régies par l'ADAPEI et le fournisseur.

Tableau 20 : Acteurs impliqués dans le réseau de valeurs des scénarios de conception de PSS.

<i>Scénarios</i>	Scénario 1	Scenario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
<i>Acteurs</i>					
Acteur 1 (A ₁)	Ecobel	Ecobel	Ecobel	Ecobel	Ecobel
Acteur 2 (A ₂)	Clinique	Clinique	Clinique	Clinique	Clinique
Acteur 3 (A ₃)	ADAPEI	Fournisseur	ADAPEI	Fournisseur	ADAPEI
Acteur 4 (A ₄)					Fournisseur

Après avoir recueillie auprès de ces acteurs leur contribution aux fonctions élaborées, il est possible d'identifier les enjeux de soutenabilité pertinents pour chaque acteur et leurs impacts potentiels associés. Cette information est recueillie auprès des acteurs et le Tableau 21 présente les impacts potentiels de chaque acteur sur les enjeux de soutenabilité et souligne que chaque scénario ne contribuera pas de manière identique aux différents enjeux identifiés pour le cas d'étude.

Tableau 21 : Livrable de l'étape 4 - Impacts potentiels des acteurs (A) impliqués dans le réseau de valeur des scénarios de conception de PSS sur les enjeux de soutenabilité (E). (Matrice H)

	Emploi et condition de travail	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour l'entreprise	Valeur ajoutée pour le client	Optimisation de la vie	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction/valorisation des déchets
Scénario 1								
Ecobel	8	3	11	10	21	6	6	5
Clinique	8	3	10	10	19	6	6	5
ADAPEI	2	1	3	2	6	2	1	1
Scénario 2								
Ecobel	8	3	11	10	21	6	6	5
Clinique	8	3	10	10	19	6	6	5
Fournisseur	2	1	4	3	8	2	2	1
Scénario 3								
Ecobel	7	3	9	8	16	5	5	5
Clinique	8	3	10	10	19	6	6	5
ADAPEI	2	1	4	3	8	2	2	1
Scénario 4								
Ecobel	7	3	9	8	16	5	5	5
Clinique	8	3	10	10	19	6	6	5
Fournisseur	2	1	4	3	8	2	2	1
Scénario 5								
Ecobel	7	3	10	9	17	5	6	5
Clinique	7	3	9	8	16	5	5	5
ADAPEI	3	2	5	5	10	2	3	3
Fournisseur	4	2	7	6	13	3	4	3

3.2.2. Etape 5 : évaluer les scénarios

Les acteurs impliqués évaluent ensuite leur score de soutenabilité dans les différents scénarios. Pour l'évaluation, les acteurs doivent attribuer un score qualitatif à chaque indicateur associé à chaque enjeu de soutenabilité identifiés lors de l'étape précédente. Le Tableau 22 présente un extrait des indicateurs que doit évaluer l'acteur « Ecobel » à propos de son score de soutenabilité dans le scénario 1, l'ensemble des questionnaires et évaluations obtenues pour chacun des acteurs considérés dans le cas d'étude est disponible en ANNEXE D. Pour rappel, le mode d'évaluation est basé sur des indicateurs auxquels l'acteur attribue une score qualitatif (faible/moyen/élevé/très élevé ou Oui/Non) qui est ensuite transformé en une valeur quantitative entière comprise entre 0 et 3.

Tableau 22 : Grille d'évaluation de l'Acteur Ecobel pour le scénario 1

Enjeux	Indicateurs	Réponse	Valeur
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	3
	Risque de travail des adolescents	Faible	3
	Risque de travail forcé	Faible	3
...	
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Moyen	2
	Utilisation d'une démarche d'éco-conception	O	3
	Utilisation de consommables	Faible	0
Réduction / Valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	O	3
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	Faible	3

L'ensemble des évaluations fournit ensuite les scores de soutenabilité de chaque acteur en fonction de son implication dans les scénarios. Ces scores sont obtenus par la moyenne des valeurs d'un enjeu. Le score pour chaque enjeu est donc compris entre 0 et 3, plus le score pour un enjeu est proche de 3 plus l'impact de l'acteur vis-à-vis de cette enjeu est soutenable. A titre d'exemple, Ecobel contribue au système de récupération du produit en fin de la vie d'utilisation et comme il résulte du système une faible quantité de déchet destinés à l'enfouissement, le score de l'enjeu « Réduction / Valorisation des déchets » est alors la moyenne des scores attribués à ces indicateurs, soit pour le scénario 1 un score égal à 3.

Tableau 23 : Livrable de l'étape 5 - Scores de soutenabilité des acteurs impliqués classés par scénario

	Emploi et condition de travail	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour l'entreprise	Valeur ajoutée pour le client	Optimisation du cycle de vie	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction/valorisation des déchets
Scénario 1								
Ecobel	2,8	0,2	0,0	1,7	0,6	2,1	2,2	3,0
Clinique	2,4	0,2	0,0	1,7	0,4	2,3	1,7	3,0
ADAPEI	3,0	1,0	2,0	1,3	1,5	2,7	2,2	3,0
Scénario 2								
Ecobel	2,9	0,2	0,0	2,7	0,5	1,5	2,2	3,0
Clinique	2,4	0,2	0,0	2,7	0,1	1,5	2,2	3,0
Fournisseur	2,4	0,2	0,0	2,0	0,6	2,1	2,2	3,0
Scénario 3								
Ecobel	2,8	0,9	1,0	1,7	1,3	2,1	2,2	3,0
Clinique	2,4	0,7	1,0	1,7	1,3	2,1	1,7	3,0
ADAPEI	3,0	1,3	3,0	2,0	1,8	2,7	2,2	3,0
Scénario 4								
Ecobel	2,6	0,9	1,0	1,7	1,3	2,1	2,2	3,0
Clinique	2,4	0,7	1,0	1,7	1,3	2,1	1,7	3,0
Fournisseur	2,4	0,4	0,0	1,3	0,6	2,7	1,7	3,0
Scénario 5								
Ecobel	2,9	1,3	1,0	1,7	1,3	1,7	2,2	3,0
Clinique	2,4	0,7	1,0	1,7	1,4	2,1	1,7	3,0
ADAPEI	3,0	1,3	3,0	2,0	1,8	2,7	2,2	3,0
Fournisseur	2,4	0,8	1,0	2,3	1,5	2,1	2,2	3,0

Ces scores de soutenabilité permettent d'identifier les enjeux « emploi et condition de travail » et « Réduction / Valorisation des déchets » comme étant très bons du point de vue de la soutenabilité. A l'inverse, les enjeux « Insertion sociale » et « Compétitivité » obtiennent de très mauvais scores de soutenabilité. Il faut maintenant analyser les potentiels d'impacts de ces enjeux de soutenabilité en parallèle de ces scores grâce à l'analyse multicritère pour apprécier l'impact global de chaque acteur sur la soutenabilité.

3.2.3. Etape 6 : appliquer la méthode d'analyse multicritère

La définition des scénarios a permis d'identifier l'impact potentiel des acteurs sur les enjeux de soutenabilités et l'évaluation de ces enjeux a permis d'estimer l'amplitude de cet impact au travers du score de soutenabilité. La méthode ELECTRE I va permettre d'aider chaque acteur à sélectionner les scénarios qui apparaissent comme soutenables de leur point de vue spécifique.

Par souci de synthèse et de compréhension, l'application de la méthode détaillée ne sera présentée que pour l'acteur « Ecobel ». Pour les autres acteurs, les graphes de surclassement sont présentés dans cette section, le reste de l'application est consultable en ANNEXE D.

Le Tableau 24 présente les impacts potentiels de l'acteur « Ecobel » sur les enjeux de soutenabilité selon les scénarios, ainsi que la pondération globale de chaque critère qui correspond à un paramètre de la méthode ELECTRE I. Il est extrait du Tableau 21 pour les scénarios et la normalisation d'un enjeu correspond à la somme des impacts potentiels de cet enjeu divisé par la somme totale des impacts potentiels.

Tableau 24 : Impacts potentiels d' « Ecobel » sur les enjeux de soutenabilité des différents scénarios et pondérations globales de ces enjeux de soutenabilité.

	Emploi et condition de travail	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour l'entreprise	Valeur ajoutée pour le client	Optimisation de la vie	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction/valorisation des déchets
Scénario 1	8	3	11	10	21	6	6	5
Scénario 2	8	3	11	10	21	6	6	5
Scénario 3	7	3	9	8	16	5	5	5
Scénario 4	7	3	9	8	16	5	5	5
Scénario 5	7	3	10	9	17	5	6	5
Somme des impacts potentiels	37	15	50	45	91	27	28	25
Normalisation	0,12	0,05	0,16	0,14	0,29	0,08	0,09	0,08

Le deuxième paramètre est l'ensemble des scores de soutenabilité issus de l'évaluation des indicateurs, présentés dans le Tableau 23.

L'application de la méthode d'analyse multicritère se basant ainsi sur ces deux paramètres permet de comparer les scénarios dans lesquels l'acteur Ecobel est impliqué (voir chapitre 2 Partie II). Cette comparaison est réalisée par paire au moyen des indices de concordances et de discordances (Tableau 25). Ces indices permettent de tester les hypothèses de concordance et de discordance des seuils.

Tableau 25 : Indice de concordance (seuil à 0,8) et de discordance (seuil à 0,3) de l'acteur « Ecobel ». Une case grise représente un résultat positif au test de concordance (partie gauche) et de discordance (partie droite)

Concordance	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4	Scenario5	Discordance	Scenario1	Scenario2	Scenario3	Scenario4	Scenario5
	Scenario1		0,74	0,51	0,51		0,31	Scenario1		0,33	0,33	0,33	0,50
Scenario2	0,63		0,42	0,42	0,35	Scenario2	0,20		0,33	0,33	0,50
Scenario3	1,00	0,74		1,00	0,76	Scenario3	0,00	0,33		0,00	0,50
Scenario4	0,88	0,74	0,88		0,76	Scenario4	0,07	0,33	0,07		0,50
Scenario5	0,92	0,86	0,92	0,92		Scenario5	0,13	0,33	0,13	0,13	

Afin de faciliter la lecture des résultats de la méthode ELECTRE I, des graphes de surclassement sont construits à partir des tests de concordance et discordance (Figure 22). Dans le cas Ecobel par exemple, le scénario 4 surclasse le scénario 1 car le test de concordance ($0,88 > 0,8$) et de discordance ($0,07 < 0,3$). Cette relation de surclassement se traduit dans le graphe de surclassement par une flèche partant du scénario 4 et arrivant au scénario 1.

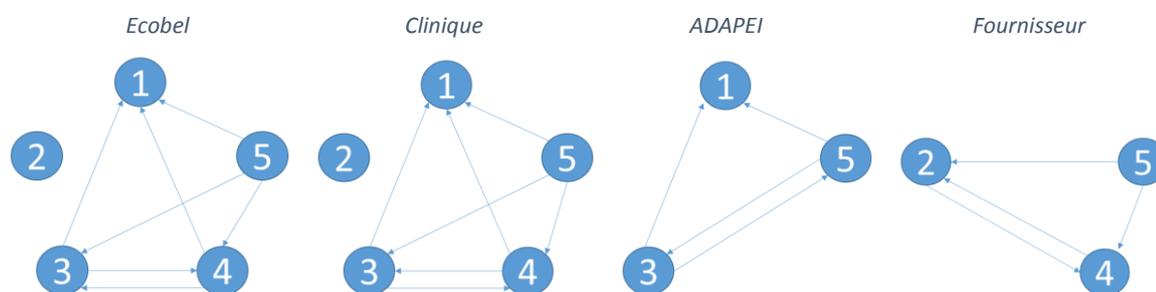


Figure 22 : Graphes de surclassement des scénarios de conception PSS pour chaque acteur

L'analyse des résultats des graphes de surclassement pour l'ensemble des acteurs met en évidence le scénario 5 comme satisfaisant pour l'ensemble des acteurs car ce

scénario n'est surclassé par aucun autre scénario. Seul le cas de l'ADAPEI est un cas particulier car les scénarios 3 et 5 sont identiques ce qui amène à un surclassement dans les deux sens de ces scénarios. De plus, il est apparu que le scénario 2 n'a pu aboutir à des relations de surclassement que dans le cas du « fournisseur ». Il en résulte qu'il apparaît comme un scénario satisfaisant pour les acteurs « Ecobel » et « Clinique » car il n'est pas surclassé par un autre scénario.

Nous pouvons donc conclure que le scénario 5 est le seul scénario acceptable d'un point de vue de la soutenabilité sans un compromis recherché pour l'ensemble des acteurs.

3.2.4. Etape 7 : négociation multi-acteurs

Cette étape a pour but d'accompagner les acteurs afin de définir un nouveau scénario si aucun n'est identifié comme satisfaisant. L'objectif de cette application est de tester la faisabilité de la négociation multi-acteurs en se basant sur les informations fournies par la méthode. Ainsi, bien que le scénario 5 soit apparu comme satisfaisant lors de l'étape 6, afin de vérifier l'applicabilité et l'intérêt de la négociation, il a été choisi de mettre en œuvre cette étape en ne se basant que sur les scénarios 1 à 4 qui ont été classés comme non-satisfaisants.

Chaque acteur étant informé de son implication fonctionnelle dans chacun des scénarios non-satisfaisants et de son score de soutenabilité sur les différents enjeux, il peut partager sa vision avec les autres acteurs afin que chacun puisse avoir une vision sur sa propre situation mais sans négliger celle des autres.

Un acteur propose ensuite de partir sur un scénario comme référence. Suite à l'analyse de ses impacts potentiels et ses scores de soutenabilité respectifs, un acteur propose d'activer un des leviers suivant :

- Changement d'acteurs
- Redéfinition des fonctions
- Redéfinition de l'implication des acteurs envers les fonctions.

Ce processus nourrit alors la discussion entre les acteurs jusqu'à la définition d'un nouveau scénario qui sera implémenté dans la méthode afin de voir si ce nouveau scénario est satisfaisant. Une expérimentation a ainsi été réalisée en laboratoire mobilisant des chercheurs pour une demi-journée (soit 4h). Une seule itération a été nécessaire pour faire émerger un scénario crédible et performant d'un point de vue de la soutenabilité. Dans cette application, un nouveau scénario a été créé comme suit :

1. Sur la base du scénario 4, il est proposé de remplacer le fournisseur par un autre fournisseur plus engagé envers l'insertion sociale.
2. Une extension du périmètre de l'offre proposée, en y ajoutant le flexible et le mitigeur permettrait une plus grande personnalisation de l'offre au client et donc une meilleure satisfaction.
3. Mise en place d'une procédure de suivi en binôme entre l'ADAPEI et le nouveau fournisseur afin d'améliorer la maintenance tout en réduisant le risque sanitaire

Cette négociation se traduit dans une nouvelle définition de l'implication des acteurs en y ajoutant l'ADAPEI afin de favoriser cette insertion sociale mais aussi un fournisseur à vocation sociale pour répondre à l'extension du périmètre et donc l'ADAPEI n'aurait pas les compétences. Les fonctions restent cependant inchangées. Le Tableau 26 présente la nouvelle implication des acteurs au vu des pistes d'améliorations identifiées.

Tableau 26 : Implication des acteurs au sein du nouveau scénario conçu

Acteurs Fonctions du nouveau scénario	Ecobel	Clinique	ADAPEI	Nouveau Fournisseur
Fournir à l'utilisateur un service personnalisé	X	X	X	X
Fournir un jet suffisant pour la toilette	X	X		
Fournir un service de maintenance préventive	X	X	X	X
Prendre en charge la maintenance curative		X	X	X
Diagnostiquer le comportement	X	X		
Surveiller le risque sanitaire	X	X	X	X
Economiser la matière première	X		X	X
Economiser l'eau et l'énergie	X	X		
Economiser la main d'œuvre		X		

Il reste à déterminer maintenant si ces améliorations suffisent à faire de ce scénario un scénario satisfaisant. Les Tableau 27 présente respectivement les impacts potentiels et les score de soutenabilité de ce nouveau scénario.

Tableau 27 : Impacts potentiels et score de soutenabilité des acteurs du nouveau scénario

Impacts potentiels	Emploi et condition de travail	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour l'entreprise	Valeur ajoutée pour le client	Optimisation de la vie	Réduction de l'utilisation des Ressources	Réduction des déchets/valorisation
Ecobel	4,9	2,0	8,01	6,9	17	3,9	4	3,0
Clinique	7,6	3,0	10,34	9,6	19	5,6	6	5,0
ADAPEI	6,6	2,5	8,84	8,1	16	4,6	5	4,5
Fournisseur	6,6	2,5	8,84	8,1	16	4,6	5	4,5
Score de soutenabilité								
Ecobel	2,9	1,3	2,0	1,7	1,3	2,7	2,2	3,0
Clinique	2,4	1,1	2,0	1,7	1,9	2,7	2,2	3,0
ADAPEI	3,0	1,7	3,0	2,0	2,1	2,7	2,2	3,0
Fournisseur	2,4	1,2	2,0	2,7	1,5	2,7	2,2	3,0

Si l'on compare ce nouveau scénario aux anciens, il est au moins aussi soutenable sur l'ensemble des scénarios 1 à 4 et pour chaque acteur (recensés dans le Tableau 23). Dès lors, la méthode ELECTRE I aboutira, assurément, à la conclusion que le scénario 4Bis est un scénario satisfaisant.

4. Conclusions

L'application de la méthode et les résultats obtenus grâce à celle-ci ont fait émerger plusieurs questionnements suite à l'analyse de ceux-ci. Tout d'abord, l'identification des enjeux de soutenabilité peut tendre vers un choix insolvable sans l'intervention de l'équipe d'évaluation. De même, la définition des seuils de concordance et discordance peuvent aboutir à des situations insolubles s'ils ne sont pas définis en fonction du contexte.

4.1. Identification des enjeux de soutenabilité

Lors de cette application, le calcul des impacts potentiels pour chaque pilier a abouti à une impasse insolvable selon la règle défini (différentiel d'un enjeu entre les piliers de soutenabilité). Le levier proposé est de mobiliser l'équipe de conception pour prendre une décision sur l'enjeu à écarter au sein du pilier surreprésenté afin de suivre l'objectif de cette étape qui est de réduire le nombre d'enjeux tout en garantissant une pertinence des enjeux de soutenabilité retenus.

4.2. Détermination des seuils de concordance et discordance

Les seuils de concordances et de discordances définissent le périmètre dans lequel les scénarios sont considérés comme non-comparables. Dans cette application, un seuil de concordance à 0,7 aurait abouti pour l'acteur « Clinique » à une impossibilité de comparaison entre les scénarios 3, 4 et 5, représenté dans le Tableau 28. En effet, les indices de concordances pour cet acteur varient entre 0,72 et 1 qui sont supérieurs au seuil de 0,7.

Tableau 28 : indices de concordances pour l'acteur « Clinique »

	Scenario3	Scenario4	Scenario5
Scenario3		1	0,72
Scenario4	1		0,72
Scenario5	1	1	

Ceci peut être dû à une trop grande similarité entre les scénarios comparés et au fait que cet acteur est peu influent sur les scénarios.

4.3. Conclusion

L'application de la méthode au cas d'étude Ecobel illustre l'applicabilité de la méthode à un contexte de conception préliminaire de scénario de PSS.

La définition des besoins du client ainsi que la constitution de l'équipe d'évaluation sont supposée définies en amont du déroulé de la méthode proposée. L'identification des enjeux de soutenabilité a pour objectif de réduire le nombre d'enjeux de soutenabilité à un seuil permettant d'obtenir des résultats exploitables à l'issue de l'analyse multicritère. Ainsi, la réduction du nombre d'enjeux de soutenabilité de 18 à 8 représentant le plus équitablement possibles les trois piliers a permis le bon déroulement de la méthode ELECTRE I et la fourniture de résultats exploitables.

La définition des scénarios a soulevé la question de l'intérêt de prendre en compte le bénéficiaire de la fonction comme co-responsable de l'impact sur la soutenabilité engendrée par la réalisation de cette fonction alors qu'il n'a pas forcément d'influence sur sa réalisation. Dans un tel cas, cela induirait une déresponsabilisation du bénéficiaire qui n'aurait qu'à externaliser les fonctions impactant le plus pour améliorer son score de soutenabilité au détriment d'une amélioration de la soutenabilité globale du système conçu. L'objectif de sensibilisation des acteurs aux problématiques de la soutenabilité ne serait alors pas rempli.

La méthode de négociation multi-acteurs TEAM a permis de renforcer la valeur ajoutée des informations fournies par l'évaluation lorsque que l'analyse multicritère n'est pas concluante. Ainsi, son application a permis de capitaliser sur les scénarios non-satisfaisants pour permettre la création d'un nouveau scénario, satisfaisant lui, grâce à l'analyse des différentes informations fournies par la méthode.

L'analyse des résultats obtenus par l'application de la méthode dans ces différentes étapes a montré que les scénarios de conception de PSS peuvent être sélectionnés avec dès lors qu'un minimum d'information à leurs sujets est disponible. Elle a permis de mettre en évidence une meilleure soutenabilité des scénarios proposant une offre basée sur une location ou une garantie de mise à disposition et lors de l'implication d'acteurs à vocations sociale au sein du réseau de valeur. En revanche, le changement de produit utilisé lors du scénario 2 n'a pas eu d'impact significatif sur le pilier environnemental et donc ce pilier n'a pas été décisif dans la sélection des scénarios.

Chapitre 8 : Projet CleanRobot

Le Projet CleanRobot est un projet (FUI 17 2014-2017) auquel le département Génie de l'Environnement et des Organisations participe. Il a pour ambition de répondre au défi de la sécurité et l'hygiène dans le domaine de l'agroalimentaire. Pour ce faire, une cellule autonome de lavage industriel est conçue afin d'évoluer dans l'environnement de travail tout en respectant un haut niveau de sécurité et d'hygiène. Ce projet est structuré autour de 5 axes d'innovation : Architecture et conception mécanique ultra compacte ; système de guidage flexible et intelligent ; système de batterie compact avec système de recharge embarqué et une grande autonomie ; maintenance prédictive du système ; Modèle économique et organisationnel innovant de type économie de fonctionnalité. Ce cinquième et dernier axe est le point d'entrée permettant de tester la méthode d'évaluation proposée.

1. Objectifs de l'étude de cas

L'initiative de la démarche de conception d'une nouvelle offre commerciale de PSS a été prise par le client et non plus par le prestataire ; ainsi, l'entreprise focale est le client. Ce dernier, acteur majeur de la transformation au sein de l'industrie agro-alimentaire, est confronté à une problématique de nettoyage du sol de ses locaux. L'objectif principal de cette étude de cas est de sélectionner, parmi différentes architectures organisationnelles, celles qui sembleraient les plus soutenables.

Il est à noter dès maintenant que l'architecture fonctionnelle, à savoir les fonctions mises en place pour répondre aux besoins, est fixée pour l'ensemble des scénarios. Cela permet d'évaluer l'applicabilité de la méthode lorsque les fonctions sont identiques mais que les acteurs et leur implication diffèrent.

2. Démarche générale adoptée

L'application du cas d'étude au projet CleanRobot s'est déroulée en parallèle de l'avancement du projet. L'équipe d'évaluation est composée de quatre chercheurs impliqués dans le projet CleanRobot et membres de l'équipe de conception de la solution PSS associée au robot industriel. Leur rôle sein du projet était de concevoir le modèle économique et organisationnel du système en cours de conception. Ils étaient en charge

de développer les différents scénarios de PSS en les faisant valider par les autres partenaires du projet. Il est alors considéré que cette équipe d'évaluation est compétente bien que les industriels n'y soient pas présents. Les membres de l'équipe d'évaluation sont capables, de par leur implication, de représenter les industriels. Le déroulé de la méthode a nécessité la mobilisation régulière de cette équipe d'évaluation, afin que les chercheurs impliqués dans le projet global fournissent, d'une part les besoins du client issus du projet CleanRobot et validés par l'équipe de conception du consortium et d'autre part les fonctions du système et l'implication fonctionnelle de chaque acteur. Il est ainsi possible de tester la méthode sur des données réelles et donc de renforcer la vérification de son applicabilité. L'évaluation des scénarios a ensuite été réalisée par cette même équipe d'évaluation lors d'une séance de travail additionnelle. Cette expérimentation conserve des limites puisque, par manque de disponibilité, ce ne sont pas directement les acteurs industriels qui appliquent la méthode. Ce point sera discuté en conclusions et perspectives.

3. Application de la méthode

3.1. Phase 1 : identification des enjeux de soutenabilité

3.1.1. Etape 1 : identifier les besoins génériques

L'équipe de conception a défini les besoins du client en traduisant le plus exhaustivement possible la problématique à laquelle le client est confronté. Le Tableau 29 présente les douze besoins ainsi qu'une courte description de ceux-ci. Les besoins du client sont organisés de telle sorte qu'ils couvrent les besoins « produit » (Besoins 1 à 6) et les besoins « service » (Besoins 7 à 12).

Tableau 29 : Besoins du client dans l'étude de cas CleanRobot

Besoin du client		Description
B ₁	Déplacer le robot de façon autonome	Le client a besoin que le système se déplace de façon autonome.
B ₂	Superviser le fonctionnement robotique	Le système a besoin d'être guidé dans la réalisation des tâches.
B ₃	Nettoyer le sol	Le client a besoin que le système puis de laver le sol.
B ₄	Assurer le support et l'intégration mécanique	Le système doit supporter la structure mécanique.
B ₅	Déplacer le robot de façon non-autonome	Le système doit pouvoir être déplacé manuellement.
B ₆	Eviter toute perturbation de l'environnement de travail	Le système ne doit pas gêner les autres activités réalisées dans l'environnement de travail.
B ₇	Supporter la conception et le test avant-vente	Le client a besoin d'accompagnement dans les étapes de conception.
B ₈	Supporter l'installation et la mise en Route	Le client a besoin d'accompagnement dans l'installation du système.
B ₉	Supporter le maintien en condition d'utilisation de fonctionnement	Le système a besoin d'être maintenu en condition d'utilisation.
B ₁₀	Supporter la fourniture des consommables et pièces d'usure	Le système a besoin d'un remplacement des pièces et consommables.
B ₁₁	Supporter la maintenance curative	Le système a besoin d'être réparé lors de pannes.
B ₁₂	Supporter la fin de vie du système	Le client a besoin que le système soit pris en charge à la fin de son utilisation.

Les besoins sont ensuite traduits en besoins génériques par l'équipe d'évaluation afin de construire la Matrice R (Tableau 30). A titre d'illustration, le besoin du client « Eviter toute perturbation de l'environnement de travail » est traduit par les besoins génériques « Utilisation personnalisée », « Utilisation optimisée » et « Ajout de valeur ajoutée par l'utilisation ».

Tableau 30 : Représentation de la matrice de générisation des besoins du client (R). (Par souci de confort visuel et de facilité de compréhension, les cases vides sont égales à 0)

Besoins du client \ Besoins génériques	Prix faible à l'achat ou l'usage	Facilité d'achat	Information sur le cycle de vie du système	Fonctions variées	Matériaux respectueux de l'environnement	...	Réduction des ressources	Utilisation personnalisée	Utilisation optimisée	Meilleurs performances
Déplacer le robot de façon autonome	1		1			...				1
Superviser le fonctionnement robotique	1	1	1			...				
Nettoyer le sol						...	1		1	
Assurer le support et l'intégration mécanique	1					...	1			
Déplacer le robot de façon non-autonome						...				
Eviter toute perturbation de l'environnement de travail						...				
Supporter la conception et le test avant-vente			1	1		...				1
Supporter l'installation et la mise en Route						...				
Supporter le maintien en condition d'utilisation de fonctionnement			1			...				
Supporter la fourniture des consommables et pièces d'usure	1		1			...			1	
Supporter la maintenance curative			1			...				
Supporter la fin de vie du système			1		1	...		1	1	

3.1.2. Etape 2 : lier les besoins du client aux catégories génériques de services

La traduction des besoins génériques aux catégories génériques de services va permettre de lier les besoins du client aux catégories génériques de services. Le Tableau 31 représente les liens établis entre les besoins du client et les catégories génériques de services.

Tableau 31 : Extrait de la matrice Q liant les besoins du client aux catégories génériques de services pour le cas d'étude CleanRobot. (Par souci de confort visuel et de facilité de compréhension, les cases vides sont égales à 0)

Catégories génériques de service de PSS	Service de recyclage	Service de maintenance	Service de financement	Service de diagnostic	Service d'information	...	Service de consultation	Partage de profit	Utilisation de nouvelles technologies
Besoins du client									
B₁ : Déplacer le robot de façon autonome				1	1	...	1		1
B₂ : Superviser le fonctionnement robotique				1	1	...			1
B₃ : Nettoyer le sol		1		1		...	1		1
B₄ : Assurer le support et l'intégration mécanique		1		1		...	1		1
...
B₁₀ : Supporter la fourniture des consommables et pièces d'usure		1		1		...	1		1
B₁₁ : Supporter la maintenance curative		1		1		...	1		1
B₁₂ : Supporter la fin de vie du système	1				1	...	1		1

3.1.3. Etape 3 : lier les enjeux de soutenabilité aux besoins du client.

Le principe de cette étape consiste à introduire les enjeux de soutenabilité par mise en relation des matrices Q et I (consultable en ANNEXE C) afin de créer la matrice U , la matrice I étant la matrice de liaison des enjeux de soutenabilité aux catégories génériques de service. A l'inverse de la première étude de cas, le processus de réduction des enjeux de soutenabilité n'a pas nécessité l'intervention de l'équipe d'évaluation. Le Tableau 32 présente la liste réduite des enjeux de soutenabilité et les potentiels d'impact des besoins du client associés (Matrice U).

Tableau 32 : Livrable phase 1 - Besoins du client et leurs potentiels d'impact sur les enjeux de soutenabilité associés
(Matrice U)

Enjeux de soutenabilité	Emploi et condition de travail	Equité et justice entre les acteurs	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour le client	Partenariat	Optimisation de la vie	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction des déchets/valorisation
Besoins du client									
Déplacer le robot de façon autonome	2	1	1	2	7	4	0	1	1
Superviser le fonctionnement robotique	2	1	1	3	7	4	0	1	1
Nettoyer le sol	2	0	1	3	5	4	2	2	2
Assurer le support et l'intégration mécanique	2	0	1	2	4	3	2	2	2
Déplacer le robot de façon non-autonome	3	1	1	2	7	3	2	2	2
Eviter toute perturbation de l'environnement de travail	2	1	1	5	11	5	1	1	1
Supporter la conception et le test avant-vente	3	1	1	5	11	5	1	1	1
Supporter l'installation et la mise en Route	2	2	0	3	6	5	1	1	1
Supporter le maintien en condition d'utilisation de fonctionnement	2	1	1	3	7	3	2	2	2
Supporter la fourniture des consommables et pièces d'usure	2	0	1	3	5	3	3	2	2
Supporter la maintenance curative	2	0	1	1	3	1	1	2	2
Supporter la fin de vie du système	2	2	1	2	6	6	4	3	2

3.2. Phase 2 : sélection des scénarios satisfaisants

3.2.1. Etape 4 : définir les scénarios PSS

La définition des PSS aboutit à la constitution de 5 scénarios. Ces scénarios répondent aux besoins du client énoncés précédemment par la même articulation fonctionnelle. Le Tableau 33 : Listes des fonctions du système (F) et lien avec les besoins du client (Matrice D) présente la liste des fonctions du système F en lien avec les besoins du client B. La différence entre les scénarios concerne l'implication des acteurs et donc leur impact sur la soutenabilité.

Tableau 33 : Listes des fonctions du système (F) et lien avec les besoins du client (Matrice D)

Besoins du client	Fonctions
Besoin d'un déplacement autonome du robot	Opérateur pour déplacement manuel
	Autonomie Energie
	Sécurité personnel
	Détection et contournement obstacle
	Détection et suivi de la trajectoire
Besoin de superviser le fonctionnement robotique	Guidage du robot
Besoin de nettoyer le sol	Raclage débris
	Brossage surface
	Autonomie eau
	Dépose solution
	Remplissage et vidange eau
	Aspiration eau
Besoin d'assurer le support et l'intégration mécanique	Supporter la totalité des éléments structurels
Besoin d'un déplacement non-autonome du robot	Commande manuelle
Besoin d'éviter toute perturbation de l'environnement de travail	Commande manuelle
Besoin de solution lors de la conception et le test avant-vente	Accompagnement dans la définition du besoin
	Accompagnement au choix de la solution
	Réalisation des essais chez le client
Besoin de solution lors de l'installation et la mise en Route	Implémentation des cartes
	Mise en service et apprentissage du robot
	Installation du système de chargement de la batterie et/ou le système de recharge automatique
	Formation à l'utilisation du robot
	Formation et accréditation des agents de la maintenance
Besoin de solution pour le maintien en condition d'utilisation de fonctionnement	Mise en place d'une plateforme de retour d'expériences
	Maintenance préventive des différents modules
	Nettoyage poussé du robot
Besoin de solution pour la fourniture des consommables et pièces d'usure	Fourniture des consommables
	Remplacement des pièces d'usure
Besoin de solution pour la maintenance curative	Maintenance curative in-situ
Besoin de solution pour la fin de vie du système	Collecte des déchets électroniques

Les cinq scénarios sont

- Scénario 1 : vente classique au client. CleanRobot fabrique et vend le robot de nettoyage (support de l'offre PSS) au client. Ce client devient propriétaire du support de l'offre PSS et l'utilise. CleanRobot réalise certaines fonctions de support.
- Scénario 2 : sensiblement le même que le scénario 1 sauf que le support de l'offre PSS est vendu à un prestataire qui l'utilise chez le client.
- Scénario 3 : CleanRobot reste propriétaire du support de l'offre PSS et il le loue au Client, qui l'utilise.
- Scénario 4 : même que le scénario 3 sauf que le support de l'offre PSS est loué à un prestataire, qui l'utilise chez le Client.
- Scénario 5 : CleanRobot prend en charge l'ensemble de la chaîne de valeur, c'est-à-dire qu'il fabrique et utilise le support de l'offre PSS chez le client. Il en reste propriétaire support sur l'ensemble du cycle de vie.

Les schémas représentant ces scénarios sont disponibles en ANNEXE E.

L'identification des acteurs impliqués dans le réseau de valeur du PSS, qui réalisent les fonctions, est le premier point de différenciation des scénarios, leur identification est présentée dans le Tableau 34. Au maximum trois acteurs sont impliqués dans un scénario : le client, un prestataire et Cleanrobot (consortium des partenaires créé lors du projet).

Tableau 34 : Liste des acteurs impliqués dans les différents scénarios

	Scénario 1	Scenarion 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Acteur 1 (A ₁)	Client	Client	Client	Client	Client
Acteur 2 (A ₂)	CleanRobot	CleanRobot	CleanRobot	CleanRobot	CleanRobot
Acteur 3 (A ₃)		Prestataire		Prestataire	

Selon le scénario, l'implication des acteurs au sein du réseau de valeur du PSS varie. Le Tableau 35 présente un extrait des acteurs impliqués selon le scénario et la fonction sélectionnés, le tableau complet est disponible en ANNEXE F. Cette tâche est réalisée par l'équipe de conception et validée par les acteurs impliqués.

Tableau 35 : Listes des acteurs impliqués au sein des fonctions selon le scénario de conception de PSS (Listes complètes en ANNEXE F)

Fonctions	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
<i>Opérateur pour déplacement manuel</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>autonomie Energie</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Sécurité personnel</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
...
<i>Mise en service et apprentissage du robot</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Installation du système de chargement de la batterie et/ou le système de recharge automatique</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
<i>Formation à l'utilisation du robot</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Formation et accréditation des agents de la maintenance</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Mise en place d'une plateforme de retour d'expériences</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Maintenance préventive des différents modules</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Nettoyage poussé du robot</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Fourniture des consommables</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Remplacement des pièces d'usure</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Maintenance curative in-situ</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
<i>Collecte des déchets électroniques</i>	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot

La contribution des acteurs aux fonctions, et par extension aux besoins du client, ainsi que les impacts potentiels des besoins du client permettent d'identifier pour chaque acteur, les enjeux de soutenabilité pertinents au regard de ces données (Tableau 36).

Tableau 36 : Livrable de l'étape 4 – Potentiels de soutenabilité des acteurs selon les scénarios.

	Emploi et condition de travail	Equité et justice entre les acteurs	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour le client	Partenariat	Optimisation du cycle de vie	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction / Valorisation des déchets
Scénario 1									
CleanRobot	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Client	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Scénario 2									
CleanRobot	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Client	4,3	1,8	2,1	8,4	18,3	10,3	2,5	2,9	2,9
Prestataire	22	9	10	29	68	41	18	19	18
Scénario 3									
CleanRobot	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Client	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Scénario 4									
CleanRobot	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Client	4,3	1,8	2,1	8,4	18,3	10,3	2,5	2,9	2,9
Prestataire	22	9	10	29	68	41	18	19	18
Scénario 5									
CleanRobot	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Client	4,3	1,8	2,1	8,4	18,3	10,3	2,5	2,9	2,9

A titre d'illustration, le potentiel de soutenabilité de CleanRobot pour « Equité et justice entre les acteurs » (10) correspond à la somme des potentiels de soutenabilité de chaque fonction impactant cet enjeu et dans lequel CleanRobot est impliqué, à savoir l'ensemble des fonctions exceptées : « Raclage débris », « Brossage surface », « Autonomie eau », « Dépose solution », « Remplissage et vidange eau », « Aspiration eau », « Supporter la totalité des éléments structurels », « Fourniture des consommables », « Remplacement des pièces d'usure » et « Maintenance curative in-situ ».

Les potentiels de soutenabilité des acteurs pour les scénarios 1 et 3 sont identiques du fait que seul deux sont présents : le client et le consortium CleanRobot.

Dans ces deux scénarios, ils sont impliqués dans l'ensemble des fonctions, en tant que fournisseur ou en tant que bénéficiaire. De façon analogue, les scénarios 2 et 4 font intervenir un prestataire mais l'implication des acteurs dans la réalisation des fonctions est la même et donc les potentiels de soutenabilité associés également.

3.2.2. Etape 5 : évaluer les scénarios

L'évaluation des différents scénarios permet d'obtenir les scores de soutenabilité de chaque acteur vis-à-vis des différents scénarios. Le Tableau 37 présente un extrait de l'évaluation pour l'acteur « Client » du scénario 5. L'ensemble des évaluations sont disponibles en ANNEXE G.

Tableau 37 : Grille d'évaluation de l'acteur Client pour le scénario 5

Enjeux	Indicateurs	Réponse	Valeur
Emploi et condition de travail	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Moyen	1
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Moyen	1
	Risque de charge de travail excessive	Faible	0
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Moyen	2
...
Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Elevé	2
	Potentiel d'augmentation des revenus	Moyen	1
	Potentiel de réduction des coûts	Faible	0
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Faible	0
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Très élevé	3
Réduction de l'utilisation des ressources	Utilisation d'une démarche d'écoconception	Non	0
	Utilisation de consommables	Oui	0
	Si oui, limitation de cette consommation	Non	0
Réduction / valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	Oui	3
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	Faible	3

L'évaluation pour l'ensemble des acteurs et des scénarios représente les scores de soutenabilité sur lesquels l'aide à la décision s'appuiera. Ils sont regroupés dans le Tableau 38. Ces scores sont calculés en faisant la moyenne, par enjeu, des valeurs correspondant aux indicateurs évalués par les acteurs. Le score pour chaque enjeu est compris entre 0 et 3, plus le score pour un enjeu est proche de 3 plus l'impact de l'acteur vis-à-vis de cette enjeu est soutenable.

Tableau 38 : Livrable de l'étape 5 – Scores de soutenabilité des acteurs impliqués dans chaque scénario.

	Emploi et condition de travail	Equité et justice entre les acteurs	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour le client	Partenariat	Optimisation de la vie du système	Réduction de l'utilisation des ressources	Réduction des déchets/valorisation
Scénario 1									
CleanRobot	2,5	1,3	0,4	3	1,3	1	2,1	1,7	1,5
Client	2,9	0,5	0	0	1,4	0,2	2,6	1,7	1,5
Scénario 2									
CleanRobot	2,5	0,5	0,4	3	1,1	1	2,1	1,7	1,5
Client	2,9	0	0	0	1,3	1,2	2,6	1,7	1,5
Prestataire	2,4	0	0,7	1	1,6	1,4	1,8	1,5	3
Scénario 3									
CleanRobot	2,5	1,3	0,4	3	1,5	2,2	2,1	1,7	3
Client	2,9	0,8	0	0	1,5	1,6	2,6	1,7	1,5
Scénario 4									
CleanRobot	2,5	0,5	1	3	1,3	1,8	2,1	1,7	3
Client	2,9	0	1	0	1,3	1,4	2,6	1,7	1,5
Prestataire	2,4	0	1	3	1,3	2,4	1,8	1,5	3
Scénario 5									
CleanRobot	2,5	1,3	0,4	3	1,6	2,6	2,1	1,7	3
Client	2,9	0,8	0	0	1,5	2,4	2,6	1,7	1,5

A titre d'exemple, le client contribue au système de récupération du produit en fin de la vie d'utilisation et comme il résulte du système une faible quantité de déchet destinés à l'enfouissement, le score de l'enjeu « Réduction / Valorisation des déchets » est alors la

moyenne des scores attribués à ces indicateurs, soit pour le scénario 5 un score égal à 3.

L'évaluation des scénarios différencie les deux groupes de scénarios, respectivement les scénarios 1,3 et 5 et les scénarios 2 et 4, qui étaient identiques jusqu'à cette étape. Bien que certaines similitudes soient encore existantes, certains enjeux varient déjà de façon significative.

3.2.3. Etape 6 : appliquer la méthode d'analyse multicritère

L'analyse multicritère, via la méthode ELECTRE I, va permettre de fournir aux différents acteurs une classification des scénarios dans lesquels ils sont impliqués, comme acceptables et non-acceptables d'un point de vue de la soutenabilité.

De façon analogue à la présentation de l'étude de cas précédente, le déroulement de cette étape ne sera présenté que pour l'acteur « Client ». Pour les autres acteurs, seuls les graphes de surclassement sont présentés. Le Tableau 39 représente les impacts potentiels de chaque scénario ainsi que leur sommes (appelées pondérations globales) et leur normalisation.

Tableau 39 : Impacts potentiels d' « Client » sur les enjeux de soutenabilité des différents scénarios et pondérations globales de ces enjeux de soutenabilité.

	Emploi et condition de travail	Equité et justice entre les acteurs	Insertion sociale	Compétitivité	Valeur ajoutée pour le client	Partenariat	Optimisation de la vie du système	Réduction de l'utilisation des	Réduction des déchets/valorisation
Scénario 1	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Scénario 2	4,3	1,8	2,1	8,4	18,3	10,3	2,5	2,9	2,9
Scénario 3	24	10	11	34	79	46	19	20	19
Scénario 4	4,3	1,8	2,1	8,4	18,3	10,3	2,5	2,9	2,9
Scénario 5	4,3	1,8	2,1	8,4	18,3	10,3	2,5	2,9	2,9
Somme des impacts potentiels	60,9	25,4	28,3	93,2	212,9	122,9	45,5	48,7	46,7
Normalisation	0,09	0,04	0,04	0,14	0,31	0,18	0,07	0,07	0,07

La méthode ELECTRE I permet alors d'analyser les résultats de façon à fournir aux acteurs et aux concepteurs, une vision de la soutenabilité du point de vue de chaque acteur. Ces points de vue sont illustrés par la Figure 23 représentant les graphes de surclassement réalisés suite à l'application de la méthode d'analyse multicritère avec un seuil de concordance à 0,8 et un seuil de discordance à 0,3.

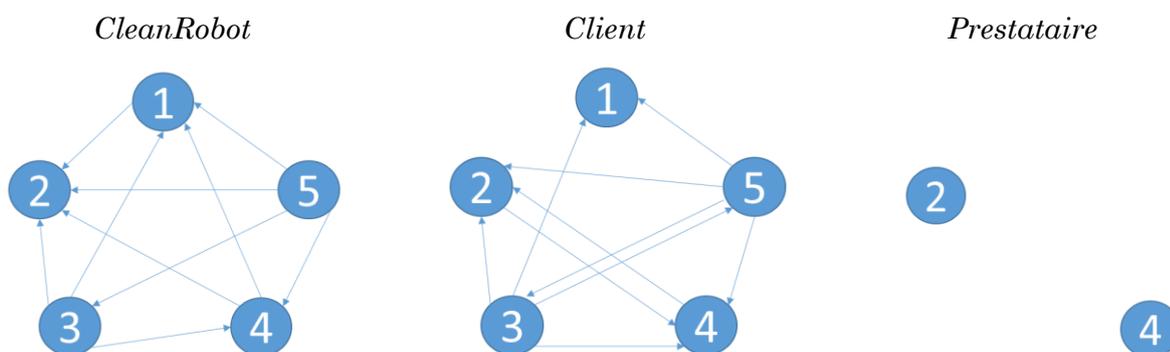


Figure 23 : Graphes de surclassement des scénarios de conception PSS pour chaque acteur

L'analyse de ces graphes de surclassement permet de conclure que le scénario 5 est le seul à surclasser les autres scénarios pour les acteurs « CleanRobot » et « Client ».

Cependant, l'acteur « Client » a une indifférence entre le scénario 3 et le 5, les deux se surclassant mutuellement. Pour le prestataire, aucun des scénarios ne surclassant l'autre, les deux peuvent être considérés comme satisfaisants.

A la fin de cette étape, il est donc possible de conclure que le scénario 5 est satisfaisant car il est ressorti comme acceptable pour l'ensemble des acteurs impliqués dans ce scénario, à savoir CleanRobot et le Client. Il n'est donc pas nécessaire de mettre en œuvre l'étape 7 de négociation multicritère.

4. Interprétations et conclusions

Ce cas d'application au projet CleanRobot illustre l'applicabilité de la méthode à un contexte industriel directement au cours de la conception des différents scénarios.

La méthode a permis de réduire le nombre d'enjeux de soutenabilité via le mécanisme de sélection de la phase I (sélection des enjeux de soutenabilité) soit par un choix de l'équipe d'évaluation si le mécanisme automatique n'a pas permis de définir un sous-ensemble d'enjeux de soutenabilité, soit automatiquement si le mécanisme n'a pas rencontré de situations insolubles lors de son déroulement. Ainsi, les enjeux de soutenabilité ont été identifiés via les deux approches (avec et sans intervention).

Puis, les différents scénarios permettant d'évaluer le score de soutenabilité de chaque acteur impliqué ont été définis puis évalués par ces mêmes acteurs. La méthode n'a pas nécessité d'être déroulée dans sa totalité. En effet, les résultats issus de l'étape 6 (Application de l'analyse multicritère) ont permis d'identifier un scénario acceptable (scénario 5) sans l'étape 7.

Conclusion de la partie III

L'utilisation et le déroulement de la méthode ont pu être illustrés avec deux cas d'étude sur l'ensemble des phases d'*identification des enjeux de soutenabilité* et de *sélection des scénarios acceptables*. Ainsi, dans les deux cas, la méthode a permis de fournir aux différents acteurs une sélection de scénarios faisant consensus. Les acteurs ont également pu obtenir une vision de leurs impacts respectifs sur les différents enjeux de soutenabilité.

Les équipes de conception ont été assistées dans le déroulement de la méthode en se basant sur les besoins du client fournis par les équipes de conception. Ces besoins ont pu être généricisés puis reliés aux enjeux de soutenabilité. Ensuite, les équipes de conception ont défini différents scénarios soumis à l'équipe d'évaluation pour aboutir à une sélection de scénarios acceptables pour l'ensemble des acteurs impliqués. Cette phase a nécessité pour le cas d'étude Ecobel, l'implémentation d'une étape supplémentaire de négociation entre les acteurs qui a pu être simulée par le biais d'un jeu de rôle multi-acteurs. Ainsi, la méthode, appliquée et testée dans le cadre des deux études de cas différentes, permet la sélection de scénarios acceptables d'un point de vue de la soutenabilité.

Nous avons constaté que la conception nécessite la prise en compte de multiples dimensions intrinsèques au contexte des offres PSS (transfert de responsabilité, cycle de vie, *business model*,...). L'intégration de ces facteurs au niveau de la conception doit permettre une plus grande intégration de la soutenabilité afin d'aider les concepteurs en prenant en compte les différents aspects impactés par une prise de décision complexe. Ce travail a notamment connecté chacune des 25 catégories génériques de services issues des travaux de Kim et al. (2012) avec les enjeux de soutenabilité identifiés par Vezzoli et al. (2014). Ce travail exploratoire réalisé uniquement en s'appuyant sur l'expertise de chercheurs académiques demande à être approfondi. Toutefois, la méthode permet d'ores et déjà d'identifier des enjeux de soutenabilité. En outre, le profil des chercheurs impliqués dans le déroulé a été sélectionné pour couvrir le plus équitablement possible les trois piliers du Développement Durable et certains liens ont recueilli l'unanimité des experts académiques. Ainsi, le service de recyclage recueille l'unanimité sur les enjeux de consommation durable/responsable et sur la réduction/valorisation des déchets ; Une solution personnalisée sur la valeur ajoutée pour le client ; le partage de profit sur l'équité et justice entre les acteurs et l'utilisation de ressources respectueuses de l'environnement sur la réduction de la toxicité. L'analyse de ces liens montre une certaine cohérence et logique.

Ces deux cas d'étude permettent de conclure que la méthode est applicable : résultats exploitables, simplicité de mise en œuvre, rapidité d'exécution grâce au développement d'un outil informatique. Cependant, elle nécessite toutefois pour le moment, l'accompagnement des acteurs par un expert/animateur afin de guider l'équipe d'évaluation dans les différents choix ou d'animer le déroulement de l'étape 7 : négociation multi-acteurs. De plus, certaines décisions requièrent des connaissances avancées notamment l'étape 1 sur l'identification des besoins génériques (étape 1) et l'étape 5 sur l'évaluation des scénarios. Cependant, en complément à l'outil informatique facilitant l'application, un guide d'utilisation complet permettra de rendre l'expertise de l'animateur partiellement accessible aux utilisateurs.

Néanmoins, il reste indispensable d'appliquer cette méthode en condition réelle de conception afin d'en valider les différentes hypothèses et son intérêt. Une telle validation permettra de tester son applicabilité en milieu industriel et, si nécessaire, de l'adapter ou de l'ajuster au besoin pour en assurer sa pertinence au regard des processus de conception de PSS soutenables. Il est à noter que dans le cas d'étude Ecobel, le dirigeant a montré beaucoup d'intérêt pour la méthode et s'est impliqué dans sa construction et dans le développement de l'outil informatique. De plus, dans le cas d'étude CleanRobot, les résultats concordent avec les résultats d'une autre étude analysant la rentabilité économique des mêmes scénarios.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

1. Apport de la méthode

1.1. L'évaluation par et pour les acteurs

L'état de l'art effectué en Partie I a permis d'identifier un manque de prise en considération des acteurs lors de l'évaluation de la soutenabilité d'un système. Ce travail de thèse propose une démarche structurée afin d'évaluer les scénarios de PSS en y intégrant les points de vue de chaque acteur impliqué dans le réseau de valeur du PSS.

Les cas d'application ont démontré que la méthode permet d'évaluer chaque scénario du point de vue de chaque acteur. Par ailleurs, une évaluation de l'impact potentiel de chaque acteur par rapport au réseau de valeur est fournie (étape 5). Et ainsi, grâce à l'analyse multicritère, les scénarios soutenables sont identifiés par acteur (étape 6).

1.2. Pour un développement durable pragmatique et systémique

La principale limite de la prise en considération de la soutenabilité est la difficulté d'appréhender le concept de développement durable. La méthode proposée permet de prendre en considération une vision systémique de l'évaluation et de garantir, grâce à la méthode ELECTRE I, la non-commensurabilité des enjeux de la soutenabilité.

La notion du développement durable est au cœur de la méthode d'évaluation. Son opérationnalisation permet à la méthode d'être claire, comprise et pragmatique pour l'ensemble des acteurs. La méthode nécessite un faible jeu de données pour pouvoir être appliquée. Ainsi, elle permet une utilisation utilisée assez facile et itérative sans que cela ne se traduise par une charge de travail conséquente pour les utilisateurs (équipes de conception et d'évaluation).

1.3. Une itérativité pour une intégration facilitée

La méthode proposée dans cette thèse a pour ambition d'être mise en œuvre en parallèle du processus de conception. Guidée par ce souci d'intégration, la structure de la méthode

s'inspire du processus de conception et surtout de ses caractéristiques et se retrouve donc construite en deux phases et six étapes qui peuvent, chacune, être réalisées de façon itératives. Cette itérativité apporte aux utilisateurs une double possibilité : d'une part, la possibilité de s'appuyer sur les résultats de l'étape comme intrant de l'étape suivante et d'autre part, la possibilité de modifier les intrants de la même étape afin de tester la robustesse et la sensibilité de leur choix.

Ces itérations permettent également de ne pas devoir réaliser toute la méthode lorsque l'équipe d'évaluation se confronte à plusieurs options sans savoir trancher. Cela peut notamment être le cas lors de l'étape de généricisation des besoins du client (étape 1) ou de l'évaluation des scénarios (étape 5).

2. Perspectives

La méthode d'évaluation et de sélection se positionnant dans un objectif d'aide à la décision et d'aide à la conception, des hypothèses ont dû être formulées. Ces hypothèses ouvrent, néanmoins, des perspectives aux travaux de recherche de cette thèse. Celles-ci seront abordées par leurs niveaux de détails en partant de perspectives propres aux étapes (incertitude et cycle de vie) pour s'élargir jusqu'à des perspectives liées au cadre méthodologique (opérationnalisation).

2.1. La subjectivité comme source d'incertitude

La méthode proposée fournit une analyse rapide et pragmatique de l'impact sur la soutenabilité des scénarios de conception de PSS. Cela a indéniablement nécessité d'utiliser des hypothèses et de faire des choix qui, bien que justifiés scientifiquement, nécessiteraient des approfondissements. Un premier approfondissement consiste à renforcer la précision de l'analyse. Afin de renforcer la précision, deux axes se distinguent alors, la gestion de l'incertitude et la réduction de la subjectivité. Plusieurs leviers peuvent être exploités à ce dessein :

Gestion de l'incertitude

Une analyse de l'incertitude liée à la représentation des connaissances par l'équipe de conception vis-à-vis du système peut être mise en œuvre via les méthodes de logique floue. Cela permettra d'avoir une meilleure vision de la fiabilité et de la précision des données fournies lors du déroulement de la méthode.

De plus, les résultats de la méthode se verraient renforcés si une analyse de l'influence de la transposition de l'évaluation qualitative en score quantitatif était réalisée. Ce type d'analyse de sensibilité, répandu dans le domaine de l'ACV, permet de renforcer la robustesse des conclusions.

Réduction de la subjectivité

La subjectivité introduite par l'auto-évaluation de la soutenabilité par les acteurs implique des biais qui sont aujourd'hui trop peu connus et qu'il serait nécessaire d'étudier. De plus, l'identification des impacts de la soutenabilité par les catégories génériques de service de PSS (étape 3) a mobilisé un panel d'experts couvrant l'ensemble des piliers du développement durable. Cependant, une mobilisation plus large (en augmentant le nombre de participants) et plus diversifiée (en intégrant des experts industriels et institutionnels) rendrait le résultat moins discutable.

2.2. Intégrer le cycle de vie comme caractéristique du PSS

La définition d'un scénario de conception de PSS a été construite, dans ce travail de thèse, autour de certaines caractéristiques (étape 4). Ces caractéristiques ne représentent néanmoins qu'une information partielle des PSS conçus, et des nouvelles informations sont nécessaires comme les activités qui vont structurer les cycles de vie du PSS.

Les cycles de vie du PSS sont intégrés dans la méthode indirectement par, d'une part, l'ensemble des catégories génériques de service de PSS (étape 2) et d'autre part, certains enjeux de la soutenabilité spécifiques à une phase d'un cycle de vie (étape 5). La deuxième étude de cas a permis d'intégrer différentes phases des cycles de vie en les définissant via les besoins du client (étape 1).

Au-delà de l'intégration des cycles de vie via les besoins du client, un mécanisme systématique de définition des cycles de vie permettrait une meilleure définition de ceux-ci afin d'accroître les connaissances du système en cours de conception et l'impact de chaque acteur sur la soutenabilité.

2.3. Du niveau des besoins à celui des solutions

Le cadre méthodologique est articulé autour d'une structure en trois phases afin de faciliter l'intégration de la méthode dans le processus de conception (chapitre 5). Cette

structure a notamment mobilisé les représentations liées à l'analyse fonctionnelle (besoins/fonctions/solutions).

Les deux premières phases sont construites sur les deux premiers niveaux d'abstraction que sont les besoins et les fonctions. Elles sont décrites dans ce travail de thèse (Chapitre 6) et ont permis de montrer l'applicabilité partielle de cette structuration lors des cas d'application (Chapitres 7 et 8)

Dans la continuité de la représentation de l'analyse fonctionnelle, le développement d'une troisième phase correspondant au niveau d'abstraction inférieur permettrait d'intégrer les solutions techniques et de service dans la définition du scénario. Cela aurait pour conséquence d'améliorer la finesse de l'évaluation du scénario et ainsi de fournir une information plus précise aux acteurs de la conception.

2.4. Une opérationnalisation pour faciliter sa diffusion

La mise en œuvre de la méthodologie de sélection lors des deux études de cas a montré la faisabilité d'application de la méthode. Cependant, la méthode n'a pas pu être testée en situation réelle de conception. En effet, le temps de la conception étant différent de celui de ce travail de thèse, il a été impossible de tester l'application de la méthode par les acteurs lors du déroulement des études de cas. Cette perspective ouvre alors deux axes à poursuivre :

Coupler la méthode d'évaluation avec une méthode de conception

La méthode d'évaluation ayant pour ambition d'alimenter le processus de conception avec des informations vis-à-vis de la soutenabilité des alternatives en cours de conception. La méthode proposée n'a pas encore eu l'opportunité d'être mise en œuvre en parallèle du processus de conception. En effet, le temps de conception des études de cas n'a pas permis d'intégrer la méthode dès le départ du processus de conception.

Une application de la méthode en parallèle du processus de conception pourrait permettre de confirmer l'applicabilité et la pertinence des informations fournies aux concepteurs.

Comment se passer de l'animateur et industrialiser la méthode ?

Enfin, la méthode nécessite aujourd'hui, un animateur pour permettre son bon déroulement et répondre aux questionnements que pourraient avoir les différents acteurs. Pour pouvoir faciliter l'appropriation et la propagation de la méthode et de l'outil informatique associé, il est nécessaire que ceux-ci puissent s'abstenir de la présence d'une tierce personne. Cela peut être atteint grâce au développement d'un outil informatique plus approprié à cette finalité et par la mise en place d'un guide détaillé

d'utilisation pour permettre de guider les utilisateurs dans le déroulement de la méthode.

3. Conclusion générale

Bien que les systèmes produits-services soient considérés comme une solution aux défis de la soutenabilité et de la mondialisation auxquelles les industriels sont confrontés de nos jours, la soutenabilité de ces systèmes lors de leur conception n'a pas été mesurée. Cette soutenabilité repose notamment sur l'impact des acteurs lors de la mise en œuvre des scénarios de PSS, induits notamment par leurs hiérarchies fonctionnelle et organisationnelle.

Ce travail de thèse avait pour objectif de proposer une méthode capable de s'intégrer dans le processus de conception existant et permettant d'introduire les enjeux de soutenabilité et de guider les concepteurs dans la prise en compte de ces nouveaux enjeux au travers d'une méthode alliant identification et analyse multicritère des données disponibles. En contexte PSS ou non, la méthode permet, indépendamment du contexte industriel, d'identifier les enjeux de soutenabilité les plus pertinents selon le contexte et de fournir aux différents acteurs de la chaîne de valeur, une évaluation des différents scénarios au regard de leurs impacts propres. Elle permet grâce à l'analyse multicritère d'identifier les scénarios acceptables du point de vue de la soutenabilité. Enfin, lorsque cette analyse multicritère ne permet pas de conclure à une sélection de scénarios acceptable, la mise en place d'une méthode de négociation multi-acteurs permet, en se basant sur les informations fournis par la méthode, de faire émerger un nouveau scénario acceptable.

Cette méthode en 6 étapes (plus une étape optionnelle) a été appliquée avec succès dans deux secteurs industriels différents (santé et agro-alimentaire), à deux échelles différentes (TPME et Grande entreprise). Ces applications ont permis de valider les hypothèses quant à la faisabilité et l'applicabilité d'une méthode dans différents contextes.

Finalement, ce travail de thèse est issu d'une recherche transversale à la croisée des domaines de l'évaluation de la soutenabilité, de la conception et du génie industriel. Il a permis, je l'espère, d'ouvrir des pistes et qu'il contribuera à la diffusion des PSS et du développement durable.

BIBLIOGRAPHIE

- Abramovici, M., Aidi, Y., Quezada, A., and Schindler, T. (2014). PSS Sustainability Assessment and Monitoring Framework (PSS-SAM) – Case Study of a Multi-module PSS Solution. *Procedia CIRP* 16, 140–145.
- Agrawal, V.V., Ferguson, M., Toktay, L.B., and Thomas, V.M. (2012). Is leasing greener than selling? *Manag. Sci.* 58, 523–533.
- Allais, R. (2015). Transition systémique pour un développement durable : entre conception et territoire (Troyes).
- Allenby, B.R. (1992). Design for Environment: Implementing Industrial Ecology (Rutgers, The State University of New Jersey).
- Alonso-Rasgado, T., and Thompson, G. (2006). A rapid design process for Total Care Product creation. *J. Eng. Des.* 17, 509–531.
- Amaya, J., Lelah, A., and Zwolinski, P. (2014). Design for intensified use in product–service systems using life-cycle analysis. *J. Eng. Des.* 25, 280–302.
- Aurich, J.C., Fuchs, C., and Wagenknecht, C. (2006). Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. *J. Clean. Prod.* 14, 1480–1494.
- Aurich, J.C., Mannweiler, C., and Schweitzer, E. (2010). How to design and offer services successfully. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 2, 136–143.
- Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O., and Kay, J.M. (2009). The servitization of manufacturing: a review of literature and reflection on future challenges. *J. Manuf. Technol. Manag.* 20, 547–567.
- Bars, M.L. (2003). Un Simulateur Multi-Agent pour l’Aide à la Décision d’un Collectif : Application à la Gestion d’une Ressource Limitée. Agro-environnementale. Université Paris Dauphine - Paris IX.
- Bartolomeo, M., dal Maso, D., de Jong, P., Eder, P., Groenewegen, P., Hopkinson, P., James, P., Nijhuis, L., Örnings, M., Scholl, G., et al. (2003). Eco-efficient producer services—what are they, how do they benefit customers and the environment and how likely are they to develop and be extensively utilised? *J. Clean. Prod.* 11, 829–837.
- Benoit, V., and Rousseaux, P. (2003). Aid for aggregating the impacts in life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 8, 74–82.
- Bernard, A., and Chenouard, R. (2014). Multi-physics Simulation for Product-service Performance Assessment. *Procedia CIRP* 16, 21–25.
- Boehm, B., and Hansen, W.J. (2001). The Spiral Model as a Tool for Evolutionary Acquisition.
- Bonvoisin, J., Lelah, A., Mathieux, F., and Brissaud, D. (2014). An integrated method for environmental assessment and ecodesign of ICT-based optimization services. *J. Clean. Prod.* 68, 144–154.

- Bosquet, M., and Gorz, A. (1977). *Écologie et liberté* (Paris: Editions Galilée).
- Botreau, R., and Veissier, I. (2013). Évaluation globale de la durabilité Démarches, difficultés et application à l'évaluation du bien-être des vaches laitières. Sémin. Annu. Plateforme MEANS 5.
- Bourg, D., and Buclet, N. (2005). L'économie de fonctionnalité. Changer la consommation dans le sens du développement durable. *Futuribles* 27–37.
- Boutaud, A. (2005). Le développement durable: penser le changement ou changer le pansement?: bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France: de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jean Monnet-Saint-Etienne.
- Braungart, M., McDonough, W., and Maillard, A. (2011). *Cradle to cradle: Créer et recycler à l'infini* (Paris: Alternatives).
- Brezet, H., Hemel, C. van, UNEP IE Cleaner Production Network, Rathenau Instituut, and Technische Universiteit Delft (1997). *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption* (Paris, France; The Hague; Delft, Netherlands: United Nations Environment Programme, Industry and Environment, Cleaner Production ; Rathenau Institute ; Delft University of Technology).
- Brezet, J.C., Bijma, A.S., Ehrenfeld, J., and Silvester, S. (2001). The design of eco-efficient services. Delft Univ. Technol. Des. Sustainability Program Delft.
- Brodhag, C. (2000). Gouvernance et évaluation dans le cadre du développement durable. In *Colloque DIV-DATAR: Europe, Villes et Territoires*.
- Busset, G. (2014). Approche d'évaluation de la durabilité des systèmes guidée par la pensée cycle de vie : application à l'agroindustrie oléicole. Université de Toulouse. Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Cavaleri, S., and Pezzotta, G. (2012). Product–Service Systems Engineering: State of the art and research challenges. *Comput. Ind.* 63, 278–288.
- Ceschin, F. (2013). Critical factors for implementing and diffusing sustainable product-Service systems: insights from innovation studies and companies' experiences. *J. Clean. Prod.* 45, 74–88.
- Chen, D., Chu, X., Yang, X., Sun, X., Li, Y., and Su, Y. (2015). PSS solution evaluation considering sustainability under hybrid uncertain environments. *Expert Syst. Appl.* 42, 5822–5838.
- Chou, C.-J., Chen, C.-W., and Conley, C. (2014). An approach to assessing sustainable product-service systems. *J. Clean. Prod.* 86, 277-284
- Dal Lago, M., Corti, D., and Wellsandt, S. (2017). Reinterpreting the LCA Standard Procedure for PSS. *Procedia CIRP* 64, 73–78.
- Domingo, L. (2013). *Méthodologie d'éco-conception orientée utilisation*. Université de Grenoble.

- Doualle, B., Medini, K., Boucher, X., and Laforest, V. (2015). Investigating Sustainability Assessment Methods of Product-service Systems. *Procedia CIRP* 30, 161–166.
- Du Tertre, C. (2007). L'économie de la fonctionnalité, pour un développement plus durable.
- Erkman, S. (2004). Vers une écologie industrielle (ECLM).
- Faratin, P., Jennings, N.R., Buckle, P., and Sierra, C. (2000). Automated negotiation for provisioning virtual private networks using FIPA-compliant agents.
- Figuière, C., and Rocca, M. (2008). Un développement véritablement durable : quelle compatibilité avec le capitalisme financier ? *Colloque international " La problématique du développement durable vingt ans après : nouvelles lectures théoriques, innovations méthodologiques et domaines d'extension"*, CLERSE, Lille, 20-22 novembre 2008.
- Forsberg, K., and Mooz, H. (1991). The Relationship of System Engineering to the Project Cycle. *INCOSE Int. Symp.* 1, 57–65.
- Goedkoop, M., Van Halen, C., Te Riele, H., and Rommens, P. (1999). Product Service Systems Ecological and Economic Basics
- Halme, M., Jasch, C., and Scharp, M. (2004). Sustainable homeservices? Toward household services that enhance ecological, social and economic sustainability. *Ecol. Econ.* 51, 125–138.
- Halme, M., Anttonen, M., Hrauda, G., and Kortman, J. (2006). Sustainability evaluation of European household services. *J. Clean. Prod.* 14, 1529–1540.
- Heijungs, R., Huppés, G., and Guinée, J.B. (2010). Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polym. Degrad. Stab.* 95, 422–428.
- ISO, I. (2010). 26000 Guidance on social responsibility. Ginebra ISO.
- Johansson, P., and Olhager, J. (2006). Linking product–process matrices for manufacturing and industrial service operations. *Int. J. Prod. Econ.* 104, 615–624.
- Jonkers, H., and Iacob, M.-E. (2009). Performance and cost analysis of service-oriented enterprise architectures. *Glob. Implic. Mod. Enterp. Inf. Syst. Technol. Appl. IGI Glob.*
- Kim, K.-J., Lim, C.-H., Lee, D.-H., Lee, J., Hong, Y.-S., and Park, K. (2012). A Concept Generation Support System for Product-Service System Development. *Serv. Sci.* 4, 349–364.
- Koning, J.-L., François, G., and Demazeau, Y. (1998). An approach for designing negotiation protocols in a multiagent system. In *IFIP World Computer Congress*, pp. 333–346.
- Kreifelts, T., and von Martial, F. (1991). A negotiation framework for autonomous agents (na).
- Lander, S.E., and Lesser, V.R. (1993). Understanding the role of negotiation in distributed search among heterogeneous agents. In *IJCAI*, pp. 438–446.
- Latouche, S. (2012a). *L'Âge des limites* (Paris: Fayard/Mille et une nuits).

- Latouche, S. (1940-) (2012b). *Bon pour la casse : les déraisons de l'obsolescence programmée (les Liens qui libèrent. [Paris])*.
- Lelah, A., Mathieux, F., and Brissaud, D. (2011). Contributions to eco-design of machine-to-machine product service systems: the example of waste glass collection. *J. Clean. Prod.* *19*, 1033–1044.
- Lelah, A., Boucher, X., Moreau, V., and Zwolinski, P. (2014). Scenarios as a Tool for Transition towards Sustainable PSS. *Procedia CIRP* *16*, 122–127.
- Lindahl, M., Sundin, E., and Sakao, T. (2014). Environmental and economic benefits of Integrated Product Service Offerings quantified with real business cases. *J. Clean. Prod.* *64*, 288–296.
- Lockett, H., Johnson, M., Evans, S., and Bastl, M. (2011). Product Service Systems and supply network relationships: an exploratory case study. *J. Manuf. Technol. Manag.* *22*, 293–313.
- Loukil, F. (2009). Normalisation et développement durable. *Innovations* 35–57.
- Malleret, V. (2006). Value creation through service offers. *Eur. Manag. J.* *24*, 106–116.
- Manzini, E., and Vezzoli, C. (2002). PSS and sustainability.
- Manzini, E., and Vezzoli, C. (2003). A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the “environmentally friendly innovation” Italian prize. *J. Clean. Prod.* *11*, 851–857.
- Matos, N., Sierra, C., and Jennings, N.R. (1998). Determining successful negotiation strategies: An evolutionary approach. In *Multi Agent Systems, 1998. Proceedings. International Conference on, (IEEE)*, pp. 182–189.
- Maussang (2008). *Methodologie de conception des Systèmes Produits-Services*.
- Maussang, N., Zwolinski, P., and Brissaud, D. (2009). Product-service system design methodology: from the PSS architecture design to the products specifications. *J. Eng. Des.* *20*, 349–366.
- Maystre, L.Y., Pictet, J., and Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale (PPUR presses polytechniques)*.
- Meier, H., Roy, R., and Seliger, G. (2010). Industrial Product-Service Systems—IPS2. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* *59*, 607–627.
- Miles, L.D. (2015). *Techniques of Value Analysis and Engineering: 3rd Edition (Lawrence D. Miles Value Foundation)*.
- Millet, D., Coppens, C., Jacqueson, L., Le Borgne, R., and Tonnelier, P. (2003). *Intégration de l'environnement en conception: l'entreprise et le développement durable. Hermes Sci.*
- Mont, O. (2004). Product-service systems: panacea of myth? *Internationella miljöinstitutet, Univ.*
- Mont, O.K. (2002). Clarifying the concept of product–service system. *J. Clean. Prod.* *10*, 237–245.

- Morelli, N. (2002). Designing product/service systems: A methodological exploration¹. *Des. Issues* 18, 3–17.
- Morelli, N. (2006). Developing new product service systems (PSS): methodologies and operational tools. *J. Clean. Prod.* 14, 1495–1501.
- Mourtzis, D., Fotia, S., Vlachou, E., and Koutoupes, A. (2017). A Lean PSS design and evaluation framework supported by KPI monitoring and context sensitivity tools. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*
- Müller, P., and Stark, R. (2010). A GENERIC PSS DEVELOPMENT PROCESS MODEL BASED ON THEORY AND AN EMPIRICAL STUDY. 60 Proc. Des. 2010 11th Int. Des. Conf. Dubrov. Croat.
- Omann, I. (2007). A Multicriteria tool for Evaluating the Impacts of Product Service Systems on Sustainable Development. An application in Austrian companies.
- Orsato, R.J., and Wells, P. (2007). The Automobile Industry & Sustainability. *J. Clean. Prod.* 15, 989–993.
- Pahl, G., and Beitz, W. (1999). *Engineering Design: A Systematic Approach* (London ; New York: Springer).
- Partidário, P.J., Lambert, J., and Evans, S. (2007). Building more sustainable solutions in production–consumption systems: the case of food for people with reduced access. *J. Clean. Prod.* 15, 513–524.
- Porras, L. (2015). Croissance, inégalités et pauvreté au sein des pays émergents : le cas des BRICS. *Rev. Régulation Capital. Inst. Pouvoirs.*
- Programme, U.N.E. (2010). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products* (UNEP/Earthprint).
- Reyes Carrillo, T. (2007). L'éco-conception dans les PME : les mécanismes du cheval de Troie méthodologique et du choix de trajectoires comme vecteurs d'intégration de l'environnement en conception (Toulon).
- Rousseaux, P., Gremy-Gros, C., Bonnin, M., Henriel-Ricordel, C., Bernard, P., Flourey, L., Staigre, G., and Vincent, P. (2017). "Eco-tool-seeker": A new and unique business guide for choosing ecodesign tools. *J. Clean. Prod.* 151, 546–577.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* (Economica).
- Roy, R. (2000). Sustainable product-service systems. *Futures* 32, 289–299.
- Royce, W.W. (1970). Managing the development of large software systems. In *Proceedings of IEEE WESCON*, (Los Angeles), pp. 1–9.
- Sachs, J.D. (2012). From Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals. *The Lancet* 379, 2206–2211.
- Sébastien, L., and Brodhag, C. (2004). A la recherche de la dimension sociale du développement durable. *Dév. Durable Territ. Économie Géographie Polit. Droit Sociol.*

- Shih, L.-H., Chen, J.L., Tu, J.C., Kuo, T.C., Hu, A.H., and Lin, S.L. (2009). An integrated approach for product service system development (II): evaluation phase. *J Env. Eng Manag* 19, 343–356.
- Shimomura, Y., and Arai, T. (2009). Service engineering—methods and tools for effective PSS development. In *Introduction to Product/Service-System Design*, (Springer), pp. 113–135.
- Simon, H.A. (1960). *The New Science of Management Decision* (Harper & Row).
- Sousa, T.T., and Miguel, P.A.C. (2015). Product-service Systems as a Promising Approach to Sustainability: Exploring the Sustainable Aspects of a PSS in Brazil. *Procedia CIRP* 30, 138–143.
- Sousa-Zomer, T.T., and Miguel, P.A.C. (2017). A QFD-based approach to support sustainable product-service systems conceptual design. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 88, 701–717.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., de Vries, W., de Wit, C.A., et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855–1259855.
- Suh, N.P. (1990). *The principles of design* (Oxford University Press on Demand).
- Suh, N.P. (1998). Axiomatic design theory for systems. *Res. Eng. Des.* 10, 189–209.
- Sycara, K. (1992). *The PERSUADER. The encyclopedia of artificial intelligence* (John Wiley & Sons).
- Tan, A., McAlloone, T.C., and Gall, C. (2007). Product/Service-System development: an explorative case study in a manufacturing company. In *16th International Conference on Engineering Design*, (Design Society), p.
- Tan, A.R., McAlloone, T.C., Andreasen, M.M., and others (2006). What happens to integrated product development models with product/service-system approaches? In *IPD 2006: Proceedings of the 6th Workshop on Integrated Product Development*, Magdeburg, Germany, 18.-20.09. 2006, p.
- Trevisan, L. (2016). *Cadre conceptuel pour l'éco-conception intégrée de systèmes produit-service* (Grenoble Alpes).
- Tukker, A. (2003). Eight Types of Product-Service Systems: Eight Ways to Sustainability? p. 27.
- Tukker, A. (2013). Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. *J. Clean. Prod.*
- Tukker, A., and Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. *J. Clean. Prod.* 14, 1552–1556.
- Ulrich, K.T., and Eppinger, S.D. (2011). *Product Design and Development*, 5th Edition (New York: McGraw-Hill Education).
- Van Halen, C., Vezzoli, C., and Wimmer, R. (2005). *Methodology for product service system innovation: how to develop clean, clever and competitive strategies in companies* (Uitgeverij Van Gorcum).
- Van Niel, J. (2007). *L'économie de fonctionnalité : définition et état de l'art*.

- Van Niel, J. (2014). L'économie de fonctionnalité: principes, éléments de terminologie et proposition de typologie. *Dév. Durable Territ. Économie Géographie Polit. Droit Sociol.* 5.
- Van Notten, P.W., Rotmans, J., Van Asselt, M.B., and Rothman, D.S. (2003). An updated scenario typology. *Futures* 35, 423–443.
- Van Ostaeyen, J., Van Horenbeek, A., Pintelon, L., and Duflou, J.R. (2013). A refined typology of product–service systems based on functional hierarchy modeling. *J. Clean. Prod.* 51, 261–276.
- Vezzoli, C., Kohtala, C., Srinivasan, A., Xin, L., Fusakul, M., Sateesh, D., and Diehl, J.C. (2014). *Product-service system design for sustainability* (Greenleaf Publishing).
- Webster, K., MacArthur, D.E., and Stahel, W. (2017). *The Circular Economy: A Wealth of Flows - 2nd Edition* (Cowes, Isle of Wight, United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation Publishing).
- Zwolinski, P., and Brissaud, D. (2006). Designing products that are never discarded. In *Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development*, D. Brissaud, S. Tichkiewitch, and P. Zwolinski, eds. (Springer Netherlands), pp. 225–244.

ANNEXES

<u>ANNEXE A : Matrice de Support pour la génération de concept (CGSM) (traduit de Kim et al., 2012)</u>	174
<u>ANNEXE B : liste des indicateurs</u>	175
<u>ANNEXE C : Représentation de la soutenabilité des catégories génériques de services (matrice I)</u>	177
<u>ANNEXE D : Evaluation des scénarios Ecobel pour chaque acteur</u>	178
<u>ANNEXE E : Scenarios considérés pour l'étude de cas CleanRobot</u>	186
<u>ANNEXE F : liste des fonctions et implication des acteurs selon le scenario</u>	191
<u>ANNEXE G : Evaluation des scénarios CleanRobot pour chaque acteur</u>	193

ANNEXE A : Matrice de Support pour la génération de concept (CGSM) (traduit de Kim et al., 2012)

	Service de recyclage	Service de maintenance	Service de financement	Service de diagnostic	Service d'information	Service de consultation	Service d'éducation	Service d'installation	Service d'Agence	Service d'essai	Service de cycle de vie	Solution globale	Solution personnalisée	Vente aux composants	Elargissement de l'offre	Self-service	Partage	Location	Cotisation aux droits d'utilisation	Garantie de résultat	Paiement à l'usage	Utilisation de ressources respectueuse de	Partage de profit	Utilisation de nouvelles technologies	Service modulaire
Prix faible à l'achat ou l'usage	3		4	1	2	5			3	1	3	1		3	23	12	16	23	4		15		3	1	2
Facilité d'achat					3	12		5	6		7	11	5	1	14				10					7	4
Information sur le cycle de vie du système*				6	7	3				1					1										
Fonctions variées		3			3		1		2			3				1				3				4	
Matériaux respectueux de l'environnement	5														1									5	1
Ressources respectueuse de l'environnement				1											1							7		2	1
Réduction des ressources	9	2		4	1	8								1	11		11	13	4	2	12		1	2	
Utilisation personnalisée				1	8	14	2		4	1		3	13	8	7	17			7					6	2
Utilisation optimisée				5	4	17	3		2		5	4	3	2	1	1				6				4	3
Meilleures performances		16		4	1	8	7		3		1	3	2						2	8					2
Faible maintenance		47		10		1		6	2		7	2		1	1				1	1				8	1
Utilisation flexible														3	13	7	3	1	8					2	3
Utilisation longue	3	2		1		1								1											
Utilisation stable		12		11						1								1						7	
Utilisation facilitée		16			2		2	4				3		1	8			1	8	9					
Disponibilité spatiale et temporelle															5	2								10	2
Ajout de valeur ajoutée par l'utilisation					2	1	2		4							2	1			2			3	2	
Elimination des déchets respectueuse de l'environnement	7	1				1					1														
Facilité d'élimination des déchets	5	1							6		9						10	16							
Ajout de valeur ajoutée par l'élimination des déchets	3					1			4							1							2		

ANNEXE B : liste des indicateurs

<i>Enjeux</i>	Indicateurs	
<i>Emploi et condition de travail</i>	Risque de travail des enfants	
	Risque de travail des adolescents	
	Risque de travail forcé	
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	
	Risque de charge de travail excessive	
<i>Equité et justice entre les acteurs</i>	Risque lié à la liberté de syndicalisation	
	Engagement des parties prenantes dans la conception du système	
	Prise en compte des attentes et potentialités des parties prenantes	
	Promotion entre les acteurs de certifications sociales ou éthiques	
	Promotion de la qualité et de l'accessibilité aux biens communs	
<i>Consommation durable / responsable</i>	Adoption de normes soulignant la soutenabilité sociale	
	Informations fournies à l'utilisateur sur le comportement soutenable	
	Participation durable / responsable de l'utilisateur	
	Implication de l'utilisateur dans la mise en œuvre de l'offre vers un comportement soutenable	
	Implication de l'utilisateur dans la conception de l'offre vers un comportement soutenable	
	Implication des faibles couches sociales	
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	
	<i>Insertion sociale</i>	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu
		Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès
Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée		
Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable		
Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts		
Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit		
Risque de marginalisation genrée ou sexuelle		
<i>Cohésion sociale</i>	Risque de marginalisation générationnelle ou culturelle	
	Risque de discrimination genrée ou sexuelle	
	Risque de discrimination religieuse ou culturelle	
<i>Intégration dans le territoire</i>	Influence du système sur le tissu économique local	
	Lien entre le système et les établissements d'enseignements et de formation	
<i>Compétitivité</i>	Visibilité de l'offre sur le marché	
<i>Valeur ajoutée pour l'entreprise</i>	Risque d'évolution rapide des besoins du client	
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	
	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	
<i>Valeur ajoutée pour le client</i>	Réduction du coût d'élimination des déchets	
	Augmentation des revenus	
	Réduction des coûts	

	Réduction de la dette/taxes
	Augmentation de la satisfaction
	Transfert de la responsabilité
	Personnalisation de l'offre
	Flexibilité
	Potentiel d'amélioration de la flexibilité
	Potentiel d'amélioration de la capacité d'innovation
<i>Pérennisation de l'entreprise</i>	Utilisation d'une méthode de suivi
	Potentiel d'intégration des connaissances
	Expertise en management de l'information, la connaissance
	Risque lié à l'investissement
	Risque d'évolution de la législation
	Identification des partenaires potentiels
<i>Partenariat</i>	Nombre de partenariats conclus
	Potentiel d'amélioration de l'organisation
	Potentiel de réduction du prix
	Potentiel d'amélioration de la visibilité de l'offre
<i>Macro-économie</i>	Potentiel d'impact économique localement
	Utilisation de produits ou produits de support locaux
	Potentiel de création d'emplois localement
	Importance de la masse des produits jetables
	Importance de la masse de produits à usage unique
	Importance de la masse des emballages
<i>Optimisation du cycle de vie</i>	Recyclabilité des emballages
	Obsolescence fonctionnelle
	Péremption planifiée
	Péremption indirecte / par notification
	Obsolescence par incompatibilité
	Obsolescence esthétique
	Présence de partie sensible
<i>Réduction du transport</i>	Transport de marchandises
	Transport de personnes
	Mise en place d'une optimisation du transport
<i>Réduction de l'utilisation des ressources</i>	Part d'énergie nécessaire au système
	Utilisation d'une démarche d'écoconception
	Utilisation de consommables ou de ressources naturelles (eau, ...)
	Si oui, limitation de cette consommation
<i>Réduction des déchets / valorisation</i>	Système de récupération du produit en fin de vie
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement
<i>Conservation des ressources / Biocompatibilité</i>	Importance de ressources non-renouvelable ou avec un taux de renouvellement très faible dans le système
<i>Réduction de la toxicité</i>	Présence de matière potentiellement dangereuse
	Présence de mécanisme pour minimiser le risque de contamination

ANNEXE C : Représentation de la soutenabilité des catégories génériques de services (matrice I)

	Service de recyclage	Service de maintenance	Service de financement	Service de diagnostique	Service d'information	Service de consultation	Service d'éducation	Service d'installation	Service d'Agence	Service d'essai	Service de cycle de vie	Solution globale	Solution personnalisée	Vente aux composants	Elargissement de l'offre	Self-service	Partage	Location	Cotisation aux droits d'utilisation	Garantie de résultat	Paiement à l'usage	Utilisation de ressources respectueuse de l'environnement	Partage de profit	Utilisation de nouvelles technologies	Service modulaire
Emploi et condition de travail	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Equité et justice entre les acteurs	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Consommation durable/responsable	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Insertion sociale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Cohésion sociale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Intégration dans le territoire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compétitivité	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Valeur ajoutée pour l'entreprise	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
Valeur ajoutée pour le client	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Pérennisation de l'entreprise	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Partenariat	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
Macro-économie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Optimisation de la vie	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
Réduction du transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Réduction de l'utilisation des ressources	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Réduction des déchets/valorisation	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Biocompatibilité	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Réduction de la toxicité	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

ANNEXE D : Evaluation des scénarios Ecobel pour chaque acteur

1. Ecobel

Enjeux	Indicateurs	Réponse	Réponse	Réponse	Réponse	Réponse
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail des adolescents	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail forcé	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
	Risque de charge de travail excessive	Elevé	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé
	Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
	Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Moyen

	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	Elevé	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé
	Potentiel d'augmentation des revenus	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
	Potentiel de réduction des coûts	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Moyen	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
	Potentiel de transfert de la responsabilité	Très élevé	Très élevé	Moyen	Moyen	Moyen
	Potentiel de personnalisation de l'offre	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
	Potentiel de flexibilité	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Optimisation du cycle de vie	Importance de la masse des produits jetables	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse de produits à usage unique	Faible	Très élevé	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse des emballages	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Recyclabilité des emballages	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Obsolescence fonctionnelle	N	O	N	N	N
	Péremption planifiée	O	O	O	O	O
	Péremption indirecte / par notification	N	N	N	N	N
	Obsolescence par incompatibilité	N	N	N	N	N
	Obsolescence esthétique	N	N	N	N	N
	Présence de partie sensible	N	N	N	N	N
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Elevé	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé
	Utilisation d'une démarche d'éco-conception	O	N	O	O	O
	Utilisation de consommables	N	N	N	N	N
	Si oui, limitation de cette consommation	N	N	N	N	N
Réduction / Valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	O	O	O	O	O
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	N	N	N	N	N

2. Clinique

		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Enjeux	Indicateurs	Réponse	Réponse	Réponse	Réponse	Réponse
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail des adolescents	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail forcé	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de charge de travail excessive	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
	Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	Elevé	Faible	Elevé	Elevé	Elevé

Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé
	Potentiel d'augmentation des revenus	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Potentiel de réduction des coûts	Moyen	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Moyen	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
	Potentiel de transfert de la responsabilité	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Très élevé
	Potentiel de personnalisation de l'offre	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
	Potentiel de flexibilité	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Optimisation du cycle de vie	Importance de la masse des produits jetables	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse de produits à usage unique	Faible	Très élevé	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse des emballages	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Recyclabilité des emballages	Moyen	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Obsolescence fonctionnelle	N	O	N	N	N
	Péremption planifiée	O	O	O	O	O
	Péremption indirecte / par notification	N	N	N	N	N
	Obsolescence par incompatibilité	N	N	N	N	N
	Obsolescence esthétique	N	N	N	N	N
Présence de partie sensible	N	N	N	N	N	
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Elevé	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé
	Process à froid /// chauffage à haute température	Process à chaud ou long	Process à froid ou court	Process à chaud ou long	Process à chaud ou long	Process à chaud ou long
	pas d'énergie en utilisation /// énergie en utilisation	énergie nécessaire	énergie nécessaire	énergie nécessaire	énergie nécessaire	énergie nécessaire
	pas de combustion pour transport /// transport non négligeable	transport négligeable	transport négligeable	transport négligeable	transport négligeable	transport négligeable
	Utilisation d'une démarche d'éco-conception	N	N	N	N	N
	Utilisation de consommables	N	N	N	N	N
	Si oui, limitation de cette consommation	N	N	N	N	N
Réduction / valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	O	O	O	O	O
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	N	N	N	N	N

3. ADAPEI

		Scénario 1	Scénario 3	Scénario 5
Enjeux	Indicateurs	Réponse	Réponse	Réponse
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail des adolescents	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail forcé	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	Faible	Faible	Faible
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Faible	Faible	Faible
	Risque de charge de travail excessive	Faible	Faible	Faible
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Faible	Faible	Faible
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales	Faible	Faible	Faible
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	Faible	Faible	Faible
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu	Faible	Faible	Faible
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès	Moyen	Elevé	Elevé
	Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée	Faible	Elevé	Elevé
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts	Elevé	Elevé	Elevé
	Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit	Faible	Faible	Faible
Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché	Elevé	Très élevé	Très élevé
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	Elevé	Faible	Faible

	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	Elevé	Elevé	Elevé
Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Faible	Faible	Faible
	Potentiel d'augmentation des revenus	Elevé	Moyen	Moyen
	Potentiel de réduction des coûts	Faible	Elevé	Elevé
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Faible	Faible	Faible
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Moyen	Elevé	Elevé
	Potentiel de transfert de la responsabilité	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Potentiel de personnalisation de l'offre	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Potentiel de flexibilité	Très élevé	Très élevé	Très élevé
Optimisation du cycle de la vie	Importance de la masse des produits jetables	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse de produits à usage unique	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse des emballages	Faible	Faible	Faible
	Recyclabilité des emballages	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Obsolescence fonctionnelle	N	N	N
	Péremption planifiée	O	O	O
	Péremption indirecte / par notification	N	N	N
	Obsolescence par incompatibilité	N	N	N
	Obsolescence esthétique	N	N	N
Présence de partie sensible	N	N	N	
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Moyen	Moyen	Moyen
	Utilisation d'une démarche d'éco-conception	O	O	O
	Utilisation de consommables	N	N	N
	Si oui, limitation de cette consommation	N	N	N
Réduction / Valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	O	O	O
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	N	N	N

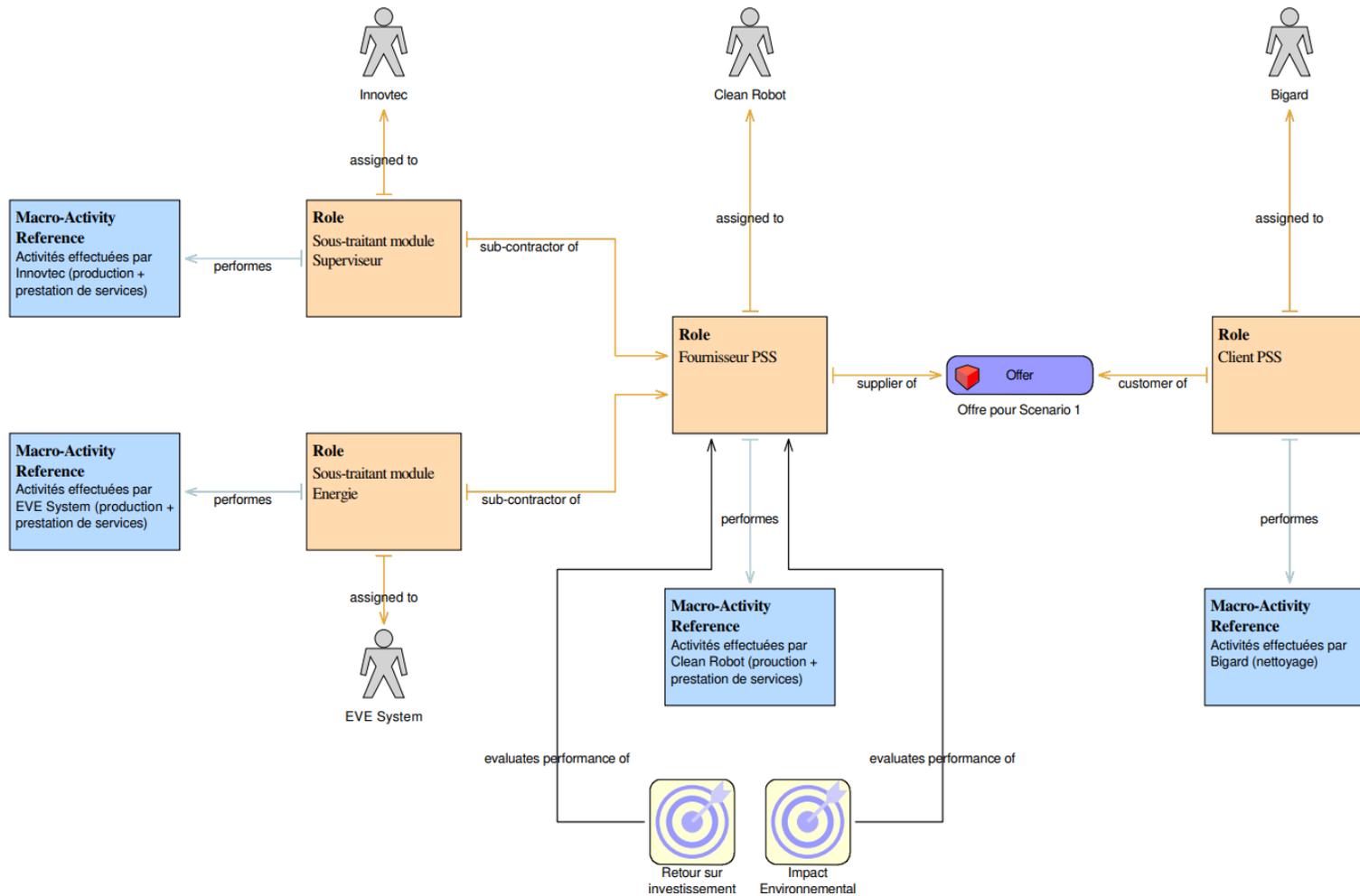
4. Fournisseur

		Scénario 2	Scénario 4	Scénario 5
Enjeux	Indicateurs	Réponse	Réponse	Réponse
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail des adolescents	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail forcé	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de charge de travail excessive	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Moyen	Moyen	Moyen
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales	Faible	Faible	Faible
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	Faible	Faible	Faible
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	Faible	Faible	Faible
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu	Elevé	Faible	Faible
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès	Faible	Faible	Elevé
	Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée	Faible	Elevé	Elevé
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable	Faible	Faible	Faible
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts	Faible	Moyen	Elevé
	Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit	Faible	Moyen	Moyen
Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché	Faible	Faible	Moyen
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	Elevé	Elevé	Moyen
	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	Faible	Elevé	Faible

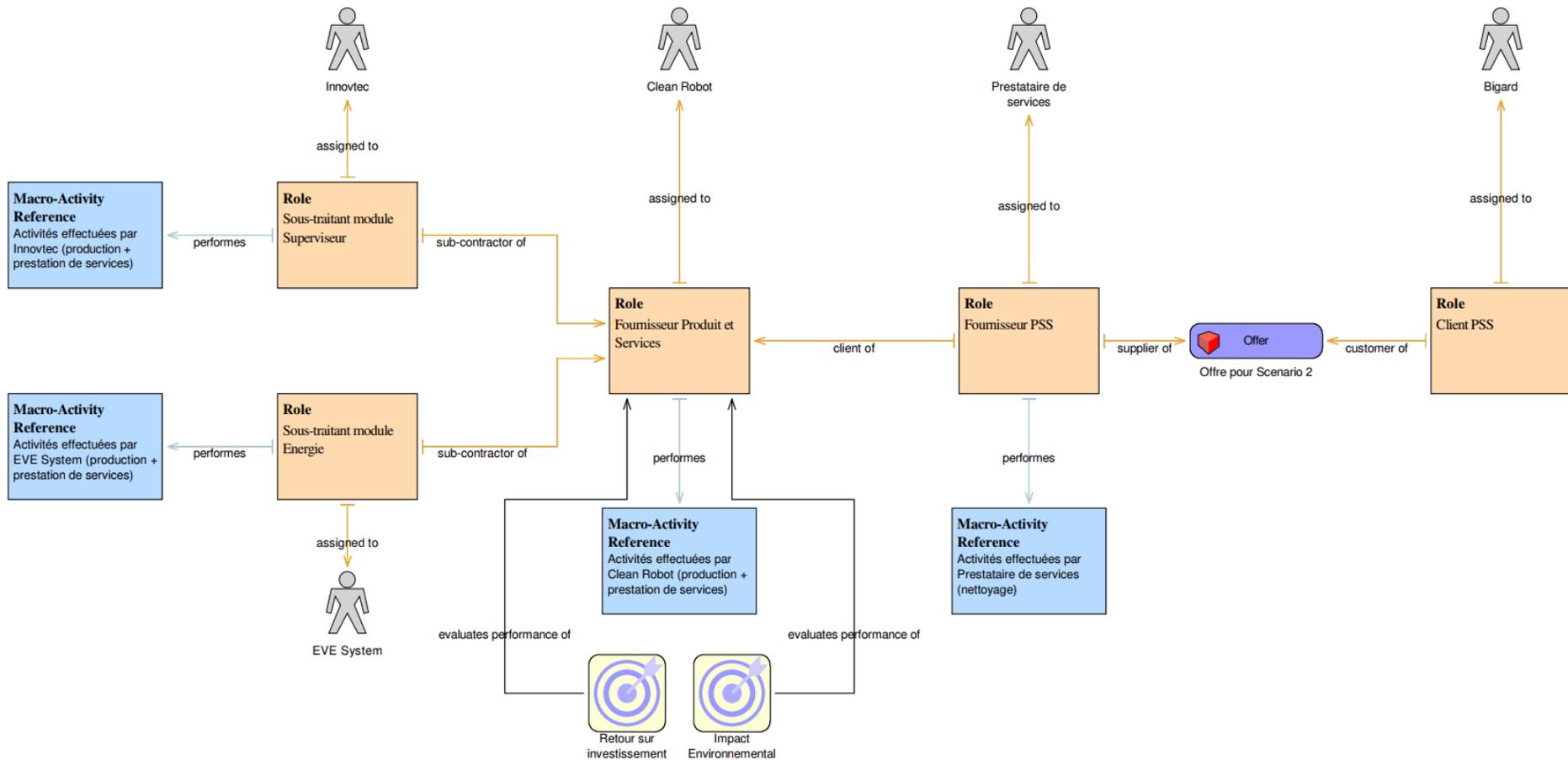
Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Elevé	Moyen	Très élevé
	Potentiel d'augmentation des revenus	Faible	Elevé	Elevé
	Potentiel de réduction des coûts	Faible	Faible	Elevé
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Faible	Faible	Faible
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Faible	Elevé	Elevé
	Potentiel de transfert de la responsabilité	Très élevé	Faible	Faible
	Potentiel de personnalisation de l'offre	Faible	Faible	Moyen
	Potentiel de flexibilité	Faible	Faible	Elevé
Optimisation du cycle de vie	Importance de la masse des produits jetables	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse de produits à usage unique	Très élevé	Faible	Très élevé
	Importance de la masse des emballages	Faible	Faible	Faible
	Recyclabilité des emballages	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Obsolescence fonctionnelle	O	N	O
	Péremption planifiée	O	O	O
	Péremption indirecte / par notification	N	N	N
	Obsolescence par incompatibilité	N	N	N
	Obsolescence esthétique	N	N	N
Présence de partie sensible	N	N	N	
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Moyen	Très élevé	Moyen
	Utilisation d'une démarche d'éco-conception	N	N	N
	Utilisation de consommables	N	N	N
	Si oui, limitation de cette consommation	N	N	N
Réduction / Valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	O	O	O
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	N	N	N

ANNEXE E : Scenarios considérés pour l'étude de cas CleanRobot

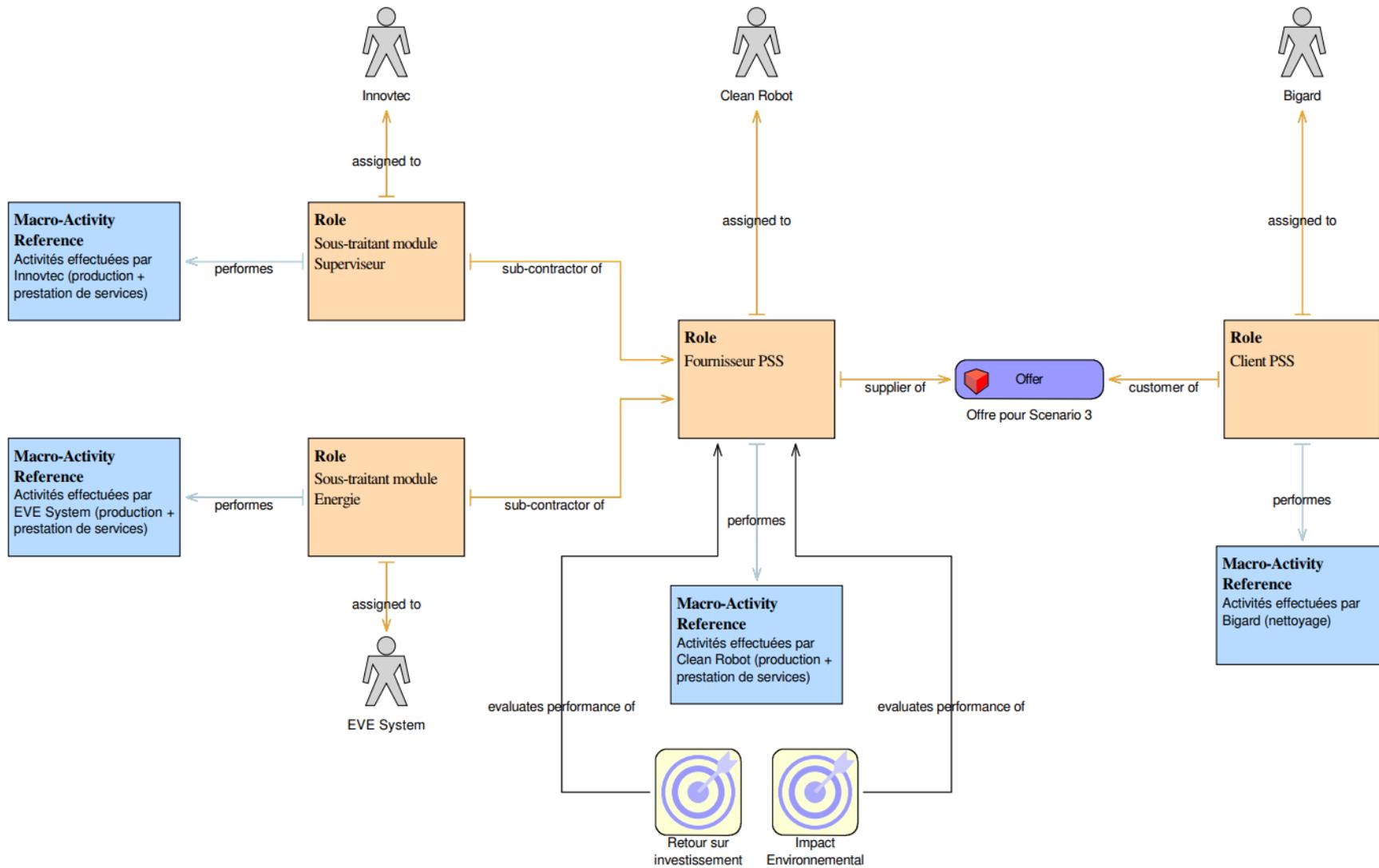
Scenario 1



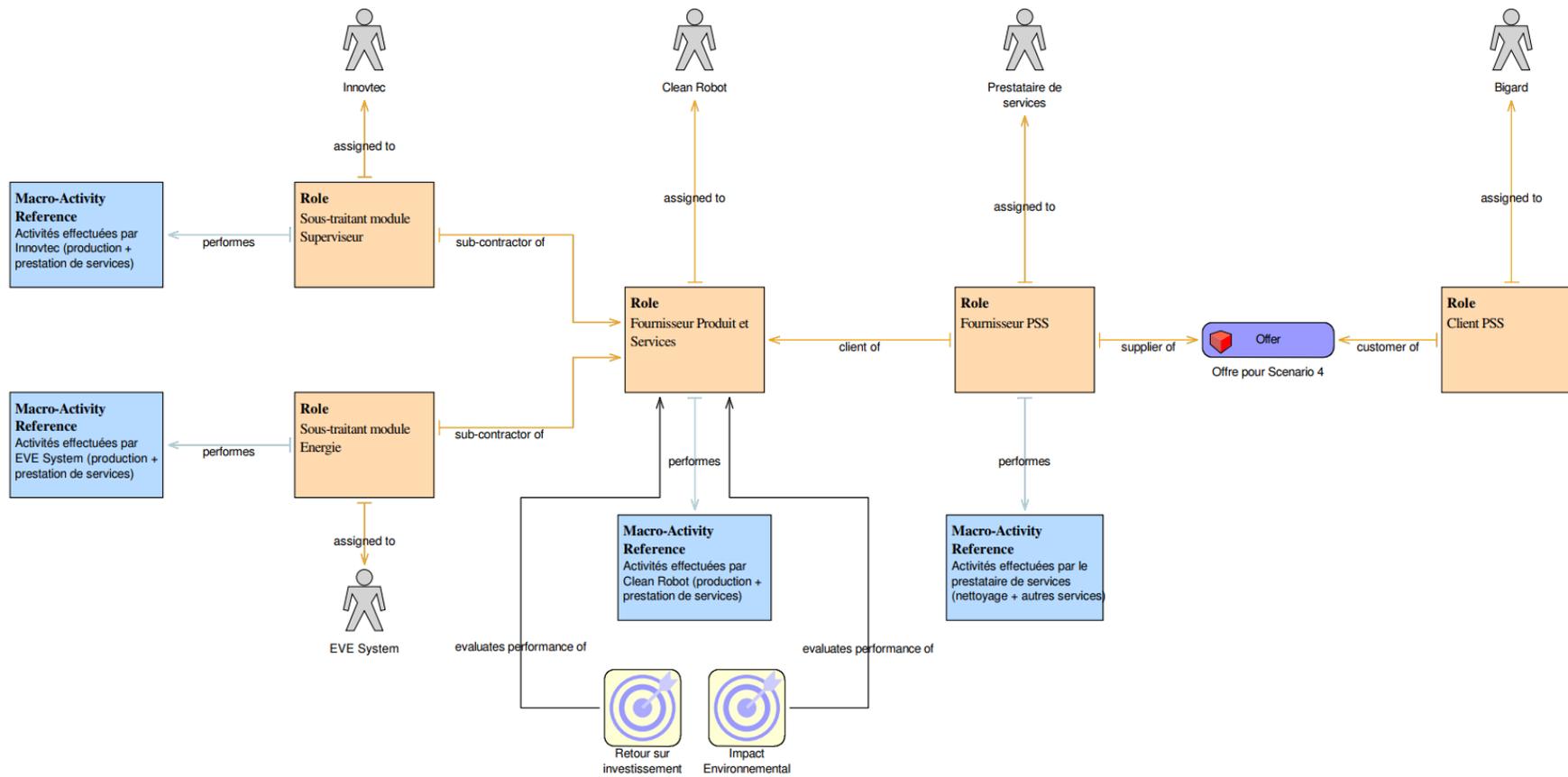
Scenario 2



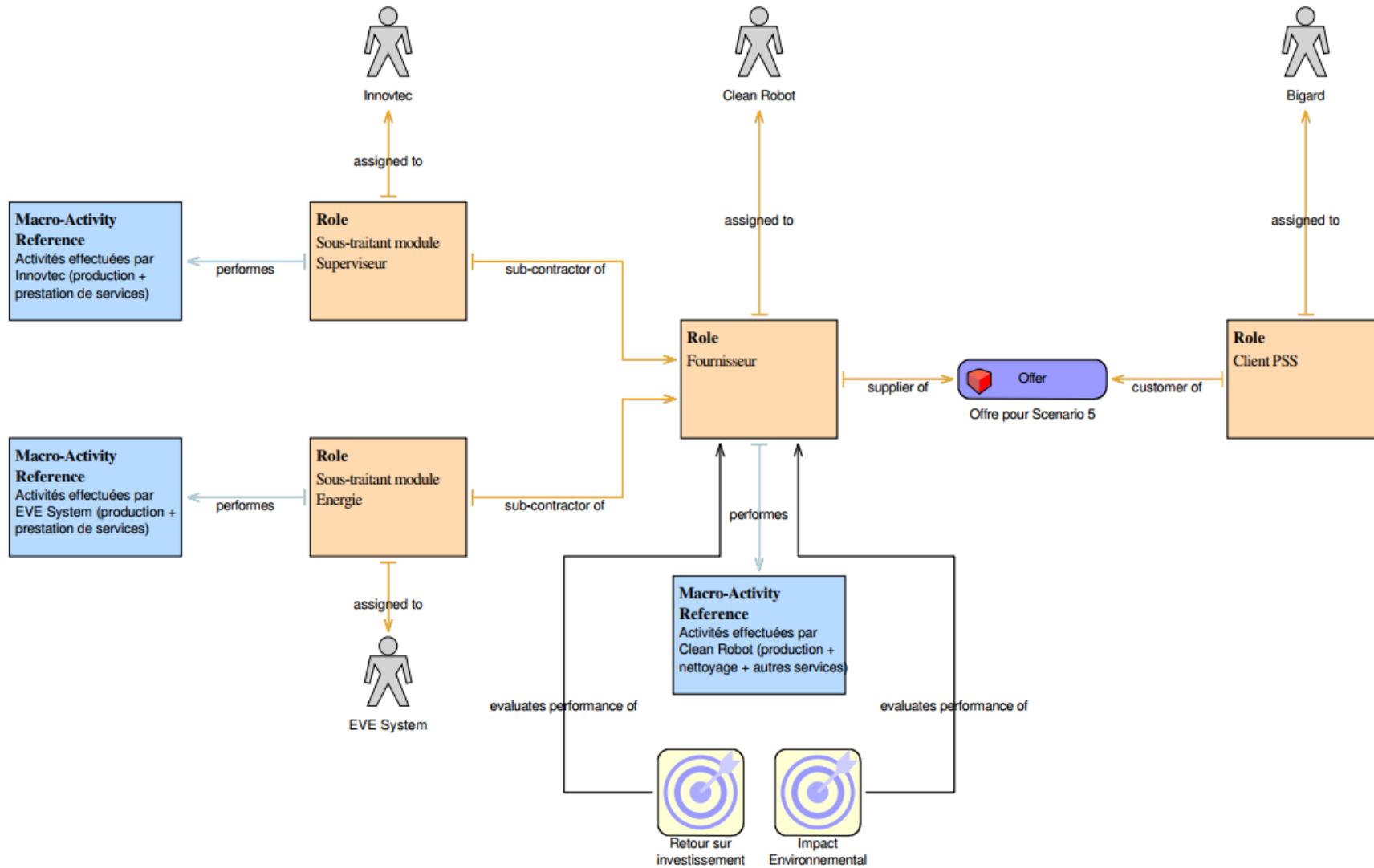
Scenario 3



Scenario 4



Scenario 5



ANNEXE F : liste des fonctions et implication des acteurs selon le scenario

Fonctions	Scénario 1	Scenario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Opérateur pour déplacement manuel	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Autonomie Energie	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Sécurité personnel	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
Détection et contournement obstacle	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
Détection et suivi de la trajectoire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Guidage du robot	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Raclage débris	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
Brossage surface	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
Autonomie eau	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Dépose solution	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
Remplissage et vidange eau	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
Aspiration eau	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Supporter la totalité des éléments structurels	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Commande manuelle	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Commande manuelle	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Accompagnement dans la définition du besoin	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client

Accompagnement au choix de la solution	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client
Réalisation des essais chez le client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Client
Implémentation des cartes	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Mise en service et apprentissage du robot	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Installation du système de chargement de la batterie et/ou le système de recharge automatique	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire / Client	CleanRobot / Client
Formation à l'utilisation du robot	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Formation et accréditation des agents de la maintenance	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Mise en place d'une plateforme de retour d'expériences	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Maintenance préventive des différents modules	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Nettoyage poussé du robot	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Fourniture des consommables	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Remplacement des pièces d'usure	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Maintenance curative in-situ	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot
Collecte des déchets électroniques	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot / Client	CleanRobot / Prestataire	CleanRobot

ANNEXE G : Evaluation des scénarios

CleanRobot pour chaque acteur

1. Client

Enjeux	Indicateurs	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
		Réponse	Réponse	Réponse	Réponse	Réponse
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail des adolescents	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail forcé	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de charge de travail excessive	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen

Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché	Elevé	Très élevé	Très élevé	Faible	Très élevé
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	Faible	Faible	Très élevé	Très élevé	Faible
Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Elevé	Elevé	Moyen	Moyen	Elevé
	Potentiel d'augmentation des revenus	Moyen	Elevé	Moyen	Elevé	Moyen
	Potentiel de réduction des coûts	Faible	Faible	Moyen	Faible	Faible
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Potentiel de transfert de la responsabilité	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Faible
	Potentiel de personnalisation de l'offre	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé	Moyen
	Potentiel de flexibilité	Très élevé	Moyen	Très élevé	Moyen	Très élevé
Optimisation du cycle de vie	Importance de la masse des produits jetables	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse de produits à usage unique	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse des emballages	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Recyclabilité des emballages	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Obsolescence fonctionnelle	O	O	O	O	O
	Péremption planifiée	O	O	O	O	O
	Péremption indirecte / par notification	N	N	N	N	N
	Obsolescence par incompatibilité	N	N	N	N	N
	Obsolescence esthétique	N	N	N	N	N
Présence de partie sensible	O	O	O	O	O	
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Utilisation d'une démarche d'écoconception	N	N	N	N	N
	Utilisation de consommables	O	O	O	O	O
	Si oui, limitation de cette consommation	N	N	N	N	N
Réduction / Valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	N	N	O	O	O
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	Non	Non	Non	Non	Non

2. Prestataire

		Scénario 2	Scénario 4
Enjeux	Indicateurs	Réponse	Réponse
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	Faible
	Risque de travail des adolescents	Faible	Faible
	Risque de travail forcé	Faible	Faible
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	Moyen	Moyen
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Moyen	Moyen
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Elevé	Moyen
	Risque de charge de travail excessive	Moyen	Moyen
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Moyen	Moyen
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales	Faible	Faible
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	Moyen	Moyen
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	Elevé	Moyen
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu	Faible	Moyen
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès	Faible	Moyen
	Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée	Moyen	Moyen
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable	Moyen	Moyen
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts	Moyen	Très élevé
Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit	Faible	Faible	
Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché	Moyen	Moyen
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client	Elevé	Elevé
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	Faible	Faible
	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	Très élevé	Faible

Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Très élevé	Très élevé
	Potentiel d'augmentation des revenus	Moyen	Moyen
	Potentiel de réduction des coûts	Elevé	Elevé
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Elevé	Elevé
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Faible	Faible
	Potentiel de transfert de la responsabilité	Très élevé	Très élevé
	Potentiel de personnalisation de l'offre	Moyen	Moyen
	Potentiel de flexibilité	Moyen	Moyen
Optimisation du cycle de vie	Importance de la masse des produits jetables	Moyen	Faible
	Importance de la masse de produits à usage unique	Elevé	Faible
	Importance de la masse des emballages	Elevé	Faible
	Recyclabilité des emballages	Très élevé	Faible
	Obsolescence fonctionnelle	O	O
	Péremption planifiée	O	O
	Péremption indirecte / par notification	O	N
	Obsolescence par incompatibilité	N	N
	Obsolescence esthétique	N	N
Présence de partie sensible	O	O	
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Elevé	Moyen
	Utilisation d'une démarche d'écoconception	N	N
	Utilisation de consommables	O	O
	Si oui, limitation de cette consommation	O	O
Réduction / Valorisation des déchets	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	O	O
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	Non	Non

3. CleanRobot

Enjeux	Indicateurs	Réponse	Réponse	Réponse	Réponse	Réponse
Emploi et condition de travail	Risque de travail des enfants	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail des adolescents	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de travail forcé	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Risque de discrimination à l'embauche, la rémunération	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque d'intervention sur l'exercice des droits du personnel	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de discrimination vis-à-vis de l'âge	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Risque de charge de travail excessive	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
	Risque lié à la liberté de syndicalisation	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
Insertion sociale	Implication des faibles couches sociales	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Implication des personnes marginalisées en leur offrant des emplois qualifiés qui améliorent leurs compétences	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Implication et facilitation de l'introduction des étrangers	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Développement de l'offre à un coût accessible pour les personnes à faible revenu	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Diversification de l'offre permettant d'augmenter les capacités d'accès	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développement de systèmes qui ont des biens économique partagée	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Développer des systèmes qui favorisent les services de travail avec un accès équitable	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Développer des systèmes qui impliquent le partage des produits et des réductions de coûts	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Développer des systèmes qui permettent un accès plus facile au crédit	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	
Compétitivité	Visibilité de l'offre sur le marché	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
Valeur ajoutée pour l'entreprise	Risque d'évolution rapide des besoins du client	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
	Risque de non-réactivité à l'évolution des besoins du client	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

	Valeur des produits ou produits de soutien en "fin de vie"	Faible	Faible	Très élevé	Très élevé	Très élevé
Valeur ajoutée pour le client	Potentiel de réduction du coût d'élimination des déchets	Elevé	Elevé	Moyen	Moyen	Faible
	Potentiel d'augmentation des revenus	Moyen	Elevé	Moyen	Elevé	Elevé
	Potentiel de réduction des coûts	Faible	Faible	Moyen	Faible	Moyen
	Potentiel de réduction de la dette/taxes	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Potentiel de l'augmentation de la satisfaction	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Potentiel de transfert de la responsabilité	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Très élevé
	Potentiel de personnalisation de l'offre	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé	Très élevé
	Potentiel de flexibilité	Très élevé	Moyen	Très élevé	Moyen	Moyen
Optimisation du cycle de vie	Présence de produit jetable	O	O	O	O	O
	Importance de la masse des produits jetables	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Importance de la masse de produits à usage unique	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Présence d'emballages jetables	N	N	N	N	N
	Importance de la masse des emballages	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
	Recyclabilité des emballages	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé
	Obsolescence fonctionnelle	O	O	O	O	O
	Péremption planifiée	O	O	O	O	O
	Péremption indirecte / par notification	N	N	N	N	N
	Obsolescence par incompatibilité	N	N	N	N	N
	Obsolescence esthétique	N	N	N	N	N
	Présence de partie sensible	O	O	O	O	O
Réduction de l'utilisation des ressources	Part d'énergie nécessaire au système	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Utilisation d'une démarche d'écoconception	N	N	N	N	N
	Utilisation de consommables	O	O	O	O	O
	Si oui, limitation de cette consommation	N	N	N	N	N
Réduction des déchets/valorisation	Système de récupération du produit après la fin d'utilisation	N	N	N	N	N
	Quantité de déchets destinés à l'enfouissement	Non	Non	Non	Non	Non

NNT : 2018LYSEM002

Benjamin DOUALLE

SUSTAINABILITY ASSESSMENT METHOD DURING THE DESIGN PROCESS OF PRODUCTS-SERVICES-SYSTEMS (PSS)

Speciality: Environmental sciences and engineering

Keywords: Product-Service System (PSS); sustainability assessment; decision making; design for sustainability.

Abstract:

Nowadays, industry faces many challenges. The increased competition from the manufacturing industry which is resulting from the market globalization and from the scarcity and rising price of resources are pushing companies to innovate in order to remain competitive, in particular by reducing the flow of materials and energy. In addition, consumers seem to be more and more conscious of their impacts introduced by the concept of sustainable development. Products-services systems (or economy of functionality) are shown as an opportunity for the industry to offer solutions that are prosperous and respectful of the environment while meeting the needs of the consumer. However, these systems are not intrinsically sustainable. It is therefore necessary to create tools and methods to help companies develop this type of economic model with a view to sustainability.

This research thesis aims to provide a method to assess the sustainability within the design process of a PSS. The specific characteristics of a sustainable PSS design must be taken into account in order to provide designers with valuable sustainability assessment and therefore support for their decision-making process. This method is intended to provide additional support in the decision-making process through qualitative and quantitative sustainability assessments.

NNT : 2018LYSEM002

Benjamin DOUALLE

METHODE D'EVALUATION DE LA SOUTENABILITE EN CONCEPTION DE SYSTEMES PRODUITS-SERVICES

Spécialité : Sciences et génie de l'environnement

Mots clefs : Système Produits-Services ; évaluation de la soutenabilité ; Aide à la décision ; écoconception

Résumé :

De nos jours, l'industrie doit faire face à de nombreux défis. La concurrence accrue de l'industrie manufacturière issue d'une mondialisation du marché ainsi que la raréfaction et la hausse du prix des ressources poussent les entreprises à innover afin de rester compétitives notamment en réduisant les flux de matières et d'énergie. De plus, les consommateurs semblent être de plus en plus conscients et soucieux des notions introduites par le concept de développement durable. Les systèmes 'produits-services' (associés à l'économie de fonctionnalités) sont montrés comme une opportunité pour l'Industrie de proposer des solutions prospères et respectueuses de l'environnement tout en répondant aux besoins du consommateur. Cependant, ces systèmes ne sont pas soutenables de façon intrinsèque. Il est, par conséquent, nécessaire de créer des outils et méthodes afin d'aider les entreprises à développer ce type de modèle économique dans un objectif de soutenabilité.

Ce travail de thèse a donc pour objectif de fournir une méthode d'évaluation de la soutenabilité à l'intérieur du processus de conception d'un PSS. Les caractéristiques spécifiques d'une conception de PSS soutenable doivent être prises en compte afin de fournir aux concepteurs une évaluation de la soutenabilité précieuse et donc un soutien de leur processus de prise de décision. Cette méthode a pour but de fournir un appui supplémentaire lors du processus de prise de décision par le biais d'évaluations de soutenabilité qualitatives et quantitatives.