



Méthodologie de conception des systèmes produits-services

Nicolas Maussang

► To cite this version:

Nicolas Maussang. Méthodologie de conception des systèmes produits-services. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2008. Français. NNT: . tel-00358166

HAL Id: tel-00358166

<https://theses.hal.science/tel-00358166>

Submitted on 2 Feb 2009

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.

INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'Institut polytechnique de Grenoble

Spécialité : Génie Industriel – Conception et Production

préparée au laboratoire G-SCOP (Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production)

dans le cadre de **l'Ecole Doctorale** *Ingénierie – Matériaux Mécanique Energétique Environnement Procédés Production*

présentée et soutenue publiquement

par

Nicolas MAUSSANG-DETAILLE

le 5 novembre 2008

MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LES SYSTÈMES PRODUITS-SERVICES

Directeur de thèse : Daniel BRISSAUD (INPG)
Co-directrice de thèse : Peggy ZWOLINSKI (UJF)

JURY

M. Dominique MILLET (Supméca Toulon, FR)	, Président
M. Améziane AOUSSAT (ENSAM Paris, FR)	, Rapporteur
M. Dimitris KIRITSIS (EPFL Lausanne, CH)	, Rapporteur
M. Rajkumar ROY (University of Cranfield, UK)	, Examineur
M. Daniel BRISSAUD (INP Grenoble, FR)	, Directeur de thèse
Mme Peggy ZWOLINKI (UJF Grenoble, FR)	, Co-directrice de thèse

Pour Alban, qui m'a donné tant de force et de courage...

Remerciements

Et bien voilà, ces remerciements qui commencent mon manuscrit sont synonymes de touche finale de ce travail. Je voudrais commencer par remercier l'ensemble des membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail de recherche. Merci donc à Améziane Aoussat et Dimitris Kiritsis pour leurs rapports sur ce document, ainsi que Dominique Millet et Rajkumar Roy pour avoir examiné mes travaux. Je souhaiterais également adresser mes remerciements à Daniel Brissaud et Peggy Zwolinski qui m'ont aiguillé, orienté et conseillé durant nos 4 années de collaboration.

Ces 4 années passées dans le feu laboratoire 3S puis dans le laboratoire G-SCOP ont également été l'occasion de faire pas mal de rencontres et discussions intéressantes. Je remercie donc tous les membres de ces laboratoires, qu'ils soient doctorants, permanents ou administratifs pour les échanges, discussions, repas, pause-café et autres bières que nous avons pu partager. Je souhaiterais également exprimer mes meilleurs vœux à l'association des doctorants du laboratoire G-SCOP, qui je l'espère vivra longtemps.

On parle souvent d'une thèse comme d'un accouchement qui se fait parfois dans la douleur, mais qui apporte vraiment beaucoup de bonheur. Ayant vécu ces 2 événements, je comprends maintenant parfaitement le sens de cette comparaison. . . La fin de ce travail ayant été faite dans des conditions personnelles particulières, ce document n'aurait pas vu le jour sans le soutien de mes proches. Ces remerciements sont donc adressés à l'ensemble des personnes qui m'ont soutenu, aidé et remonté le moral pendant les moments difficiles que j'ai pu traverser. Un grand merci donc à mes parents ainsi qu'à mon frère et Gary, Brad, Guillaume, Matthieu, Rosalinda et Stefano, Maria, Peggy, Susann, Bly et Alex, Sophie Nicolas et Zéa. Comme cette liste est bien entendu non exhaustive, c'est un grand merci que j'adresse à l'ensemble de ma famille (au sens large) et amis qui m'ont apporté tous leurs encouragements et soutiens. Pour tout cela, je les remercie du fond du cœur et sachez que tout ce que vous avez fait pour moi restera à jamais gravé. J'ai également une pensée toute particulière pour Luc, qui nous a quitté trop brutalement.

Enfin, je souhaite dédier ce travail à mon fils Alban. L'énergie et le courage qu'il m'a donnés m'ont permis de terminer en beauté ce travail ponctué par des moments d'immense joie et bonheur, comme d'autres plus douloureux. Pour toi Alban, que j'aime très fort.

Table des matières

Introduction	1
1 Les systèmes produits-services : contexte et exemples	5
1.1 Contexte : de la vente de produits à la fourniture de services .	6
1.2 L'économie de services	9
1.2.1 Enjeux environnementaux et économiques	9
1.2.2 Les systèmes produits-services (SPS)	11
1.3 Quelques cas emblématiques	12
1.3.1 Le cas Vélo'v©	12
1.3.2 Le cas Xerox©	13
1.3.3 Le cas Electrolux©	14
1.4 Eléments relatifs aux systèmes produits-services	14
1.4.1 Les objets physiques	15
1.4.2 Les unités de service	16
1.4.3 Le rôle de l'organisation	16
1.4.4 Augmenter la valeur des systèmes produits-services . .	17
1.5 Evolution du problème de conception	19
1.5.1 Les frontières de l'étude	19
1.5.2 Sous-traitants et partenaires	20
1.5.3 Coût économique	21
1.5.4 Considérations environnementales et sociales	21
1.6 Conclusion	22
2 Les systèmes produits-services : concepts et méthodologies existantes	25
2.1 Les concepts produits-services	26
2.1.1 Les produits étendus	26
2.1.2 L'ingénierie des services	28
2.1.3 L'économie de fonctionnalité	30
2.1.4 Les systèmes produits-services	31

2.1.4.1	Définition	33
2.1.4.2	Typologie des systèmes produits-services . .	34
2.1.4.3	Vente de fonctionnalité	35
2.1.5	Les systèmes produits-services industriels	36
2.1.6	Synthèse	38
2.2	Les méthodologies pouvant être utilisées pour concevoir les SPS	39
2.2.1	Les méthodologies orientées produit	39
2.2.1.1	Les méthodologies de conception systématique	39
2.2.1.2	Conception intégrée du produit	42
2.2.1.3	Conception des services orientés produit . . .	43
2.2.1.4	Conception modulaire des SPS techniques . .	45
2.2.1.5	Conception des produits fonctionnels	46
2.2.1.6	L'analyse fonctionnelle	48
2.2.1.7	Synthèse	51
2.2.2	Les méthodologies orientées service	51
2.2.2.1	La représentation "blueprint"	51
2.2.2.2	Le modèle SADT	53
2.2.2.3	L'ingénierie des services	54
2.2.3	L'ingénierie système	56
2.2.3.1	Définition	56
2.2.3.2	Développement de l'ingénierie système	57
2.2.3.3	Démarches envisagées	59
2.2.4	Les méthodologies de conception produits-services . .	60
2.2.4.1	Le Développement des Systèmes Produits-Services	62
2.2.4.2	Les systèmes produits-services et le développement durable	63
2.3	Conclusion	65
3	Méthodologie de conception des systèmes produits-services	69
3.1	Fonctions - Solutions - Activités : quels rôles dans le processus de conception ?	70
3.1.1	Les fonctions dans un processus de conception	70
3.1.2	Les solutions dans un processus de conception	72
3.1.3	Les activités : élément fédérateur entre fonctions et solutions	73
3.1.4	Innovation et conception système	74
3.1.5	Synthèse	75
3.2	Modèles de représentation des systèmes produits-services . . .	75

3.2.1	Modélisation du système dans son environnement . . .	76
3.2.2	Modélisation interne des systèmes produits-services . .	77
3.2.3	Comparaison entre une modélisation d'un produit seul et celle d'un système produits-services : l'exemple du SPS Vélo'v	79
3.2.3.1	Modélisation externe d'un vélo seul	79
3.2.3.2	Modélisation d'un système de location de vélos	81
3.2.3.3	Spécificités des modélisations entre un pro- duit seul et un système produits-services . . .	84
3.3	Les scénarios dans la conception des systèmes produits-services	86
3.3.1	Les scénarios dans les processus de conception	86
3.3.2	Les scénarios d'utilisation	87
3.3.2.1	Définition	87
3.3.2.2	Les scénarios d'utilisation et les activités réa- lisées par le client	88
3.3.2.3	Exemple de l'activité "Emprunter un vélo" .	89
3.3.3	Les scénarios de fonctionnement	91
3.3.3.1	Définition	91
3.3.3.2	Exemple d'un scénario de fonctionnement pour réparer les vélos en panne	92
3.3.4	Bilan	92
3.4	Méthodologie proposée pour la conception des systèmes produits- services	93
3.4.1	Les fonctions de service	94
3.4.2	Les fonctions spécifiques aux systèmes produits-services	95
3.4.3	Les scénarios d'utilisation	97
3.4.4	Classification des fonctions techniques et des principes de solutions	98
3.4.5	Modélisation interne du système avec les premiers élé- ments de solution	100
3.4.6	Détail des éléments de solutions et organisation entre ces éléments	100
3.4.7	Discussions	104
3.4.7.1	Lien entre la modélisation interne et les scé- narios de fonctionnement	104
3.4.7.2	Couplage entre les scénarios d'utilisation et de fonctionnement	104
3.5	Evaluation des solutions en cours de conception	107
3.5.1	Quelles évaluations pour les systèmes produits-services ?	107

3.5.1.1	L'analyse du cycle de vie	107
3.5.1.2	Les systèmes produits-services soutenables	108
3.5.2	Evaluation du système par les boucles de conception	109
3.5.3	Evaluation d'une boucle la boucle de conception "Réparer les vélos"	111
3.5.3.1	Scénario 1	112
3.5.3.2	Scénario 2	113
3.5.3.3	Synthèse	115
3.5.4	De l'étude du système à l'étude du vélo	116
3.5.4.1	Analyse externe du vélo Vélo'v	116
3.5.4.2	Le système de freins	117
3.5.4.3	Le système de changement de vitesses	117
3.6	Conclusion	118
4	Application de la méthode au projet HTS	121
4.1	Le projet <i>High Temperature Supraconductor</i> (HTS)	122
4.1.1	Le transport d'énergie par câbles supraconducteurs	122
4.1.2	Les câbles supraconducteurs	123
4.1.3	Le projet de SPS HTS	124
4.1.4	La solution produit "classique" au refroidissement des câbles électriques	125
4.2	Application de la méthodologie	126
4.2.1	Etude d'une portion de câbles à réfrigérer	126
4.2.2	Modélisation externe du système	128
4.2.2.1	Les fonctions de service du SPS HTS	128
4.2.2.2	Caractérisation des fonctions et milieux extérieurs	129
4.2.3	Identification des premiers éléments de solutions	130
4.2.3.1	Les fonctions spécifiques aux systèmes produits-services	130
4.2.3.2	Définition des interactions entre le système et le client : les scénarios d'utilisation envisagés	131
4.2.3.3	Les fonctions techniques et solutions envisagées du système	132
4.2.4	Modélisation interne des solutions identifiées	136
4.2.4.1	Système envisagé pour le scénario 1	136
4.2.4.2	Système envisagé pour le scénario 2	138
4.2.4.3	Discussion sur la disponibilité	139

4.2.4.4	Premiers éléments mis en place pour faire l'évaluation	140
4.2.5	Les organisations mises en place pour assurer le bon fonctionnement	143
4.2.5.1	Scénario 1 : étude du fonctionnement pour effectuer les réparations sur le réfrigérateur .	143
4.2.5.2	Scénario 2 : quel fonctionnement pour effectuer les réparations sur le réfrigérateur ? . . .	148
4.2.5.3	Bilan	150
4.3	Conception détaillée d'un élément du système	152
4.3.1	Extraction d'un objet physique en vue de sa conception	153
4.3.2	Relation entre les éléments extérieurs et l'objet développé	154
4.3.3	Bilan	156
4.4	Conclusion	156
 Conclusion		 159
 Perspectives		 163

Table des figures

1.1	De la vente de produits à la fourniture de service : de la voiture à la mobilité...	7
1.2	Transition du modèle économique : de la vente de produit à la fourniture de service	9
1.3	Description d'un système produits-services	15
1.4	Parties prenantes recevant de la valeur des systèmes produits-services	18
2.1	Les produits étendus	27
2.2	Définition du service dans le cadre de l'ingénierie des services	29
2.3	Liens entre les acteurs impliqués dans un service d'hôtel	30
2.4	Processus générique de co-développement des produits-services	32
2.5	Etapes caractéristiques du projet Innopse	33
2.6	Typologie des systèmes produits-services	34
2.7	Les produits fonctionnels	35
2.8	Complémentarité entre vente de services et remanufacturing	36
2.9	Structure d'un système produits-services technique	37
2.10	Cadre de développement des service techniques	38
2.11	Conception systématique des produits	40
2.12	Le processus de conception de produits par Ulrich et Eppinger	41
2.13	Approche générale pour la conception des systèmes et produits techniques	42
2.14	Développement intégré du produit	43
2.15	La maintenance sur l'ensemble du cycle de vie du produit	44
2.16	Processus de modularisation des SPS	45
2.17	Le graphe des interacteurs de l'Analyse Fonctionnelle	49
2.18	Le diagramme FAST	50
2.19	Le bloc diagramme fonctionnel (BDF)	51
2.20	Principe de la représentation blueprint	52
2.21	Modélisation SADT	53

2.22	Découplage entre la conception de produits et celle de services (Sakao <i>et al.</i> , 2006b)	55
2.23	De la description des agents au détail des paramètres de solutions	56
2.24	Processus d'ingénierie et d'intégration pour le développement des systèmes complexes	57
2.25	Evolution de la décomposition du système selon les étapes du développement	58
2.26	Imbrication des différents processus de l'ingénierie système . .	59
2.27	Etape du développement du concept dans le cadre du développement des systèmes produits-services soutenables	64
3.1	Liens fonctions-solutions-critères	71
3.2	Approche de conception par les fonctions et par les solutions .	73
3.3	Modélisation externe du SPS dans son environnement	77
3.4	Schématisation des objets physiques et unités de service dans la modélisation interne	77
3.5	Représentation interne d'un système produits-services	79
3.6	Représentation du vélo dans son environnement	80
3.7	Représentation interne du vélo seul	81
3.8	Représentation externe du système de location Vélo'v	81
3.9	Représentation interne du système de location de vélos	83
3.10	Pieuvre du vélo impliqué dans le système de location	83
3.11	De l'analyse externe du système à l'analyse interne d'un élément	85
3.12	Mode de représentation d'un scénario d'utilisation	88
3.13	Description des activités du client durant la phase d'utilisation du système	89
3.14	Etat initial de l'activité "Emprunter un vélo"	90
3.15	Données initiales du scénario de fonctionnement pour réparer une panne	91
3.16	Méthodologie de conception des systèmes produits-services . .	94
3.17	Graphe des interacteurs du système Vélo'v	95
3.18	Les fonctions spécifiques à étudier dans le cadre du développement des systèmes produits-services	96
3.19	Les principes de solutions envisagés dans le cadre des fonctions spécifiques SPS	97
3.20	Scénario d'utilisation pour la sous-phase "Emprunter un vélo"	98
3.21	Hierarchisation des fonctions techniques du système Vélo'v . .	99
3.22	Modélisation interne du système avec les premiers éléments .	100
3.23	Exemple d'un scénario de fonctionnement pour réparer	101

3.24	Bloc diagramme fonctionnel pour le scénario de fonctionnement envisagé figure 3.23	103
3.25	Liens entre les données internes du scénario d'utilisation et le scénario de fonctionnement	106
3.26	Les grandes phases de l'Analyse de Cycle de Vie	108
3.27	Tableau de bord partiel du cas Vélo'v	111
3.28	Tableau de bord pour le scénario 1	112
3.29	Alternative de scénario pour effectuer les réparations des vélos	114
3.30	Bloc diagramme fonctionnel dans le cas d'une maintenance faite entièrement sur place	114
3.31	Tableau de bord pour le scénario 2	115
3.32	Graphe des interacteurs du vélo impliqué dans le système Vélo'v	116
3.33	Comparaison entre le système de freinage Vélo'v (à gauche) par rapport à un système de freinage "classique"	117
3.34	Comparaison entre le système de changement de vitesse Vélo'v (à gauche) par rapport à un changement de vitesse "classique"	118
4.1	Architecture envisagée d'un réfrigérateur (Saji <i>et al.</i> , 2002)	123
4.2	Structure d'un câble supraconducteur haute température	124
4.3	Description d'un centre de liquéfaction hélium	125
4.4	Modélisation du SPS HTS dans son environnement	128
4.5	Les principes de solutions mis en avant pour les fonctions spécifiques SPS dans le cadre du projet HTS	131
4.6	Les 2 scénarios d'utilisation envisagés	133
4.7	Les fonctions techniques du SPS HTS et les principes de solutions envisagés	135
4.8	Représentation interne du système pour le scénario 1	137
4.9	Représentation interne du système pour le scénario 2	139
4.10	Les états du système associés aux cas de défaillance	140
4.11	Tableau de bord mettant en relation les boucles de conception et les critères externes du système	141
4.12	Gestion à distance : scénario de fonctionnement envisagé pour assurer le bon fonctionnement des réfrigérateurs	144
4.13	Gestion à distance : chronogramme relatif au fonctionnement envisagé pour assurer le bon fonctionnement	144
4.14	Gestion à distance : modification de l'enchaînement des activités pour réparer les réfrigérateurs	145
4.15	Scénario 1 : représentation interne du système assurant le bon fonctionnement des réfrigérateurs	146

4.16	Tableau de bord concernant les éléments impliqués dans la réparation des réfrigérateurs	147
4.17	Scénario 2 : fonctionnement envisagé pour réparer le réfrigérateur lors d'une panne mécanique	148
4.18	Scénario 2 : chronogramme associé à la réparation d'un réfrigérateur	149
4.19	Scénario 2 : représentation interne du système pour assurer le bon fonctionnement des équipements	149
4.20	Tableau de bord de la boucle de conception	150
4.21	Graphe des interacteurs de l'objet physique "boîtier de supervision"	153

Introduction

Problématique générale

Une économie de plus en plus concurrentielle ainsi que des contraintes environnementales fortes poussent aujourd'hui les entreprises à réfléchir sur la manière dont les produits sont vendus/utilisés. La satisfaction du client, élément central dans tout processus de développement de nouveaux produits, est aujourd'hui couplée avec la nécessité d'apporter plus de valeur aux clients. Le paradigme de production/consommation de masse basé sur la vente de produits physiques tend aujourd'hui à être substitué par la fourniture de services. Cette fourniture de services peut être réalisée en garantissant aux clients un résultat, une utilisation. Dans ce contexte, nous travaillons sur les changements engendrés par cette économie de services sur les produits impliqués dans ces nouveaux systèmes produits-services (SPS). Le travail de recherche pointe en particulier les limites des méthodologies existantes et les besoins en termes d'outils de représentation et de méthodes pour prendre en compte l'ensemble des interactions entre les éléments du système. Cette analyse du système conduira à détailler les relations qui existent entre les éléments afin d'en tenir compte pendant leur conception détaillée.

Les questions de recherche qui sont traitées dans ces travaux sont :

- Quels moyens de représentation spécifiques à ces systèmes produits-services doivent être utilisés ?
- Comment caractériser et intégrer les interactions entre le client et le système ?
- Comment évaluer les systèmes produits-services dès les phases amont de la conception ?
- Le processus de conception des systèmes produits-services nécessite-t-il une méthodologie particulière ?

Contexte des travaux de recherche

Ce doctorat a été réalisé au sein du laboratoire G-SCOP (Grenoble-INP, UJF, CNRS). Les problématiques traitées dans ce laboratoire sont du domaine de la conception intégrée et de l'optimisation des systèmes de productions. Cette thèse s'inscrit dans la recherche de méthodologie contribuant à la conception des produits et process industriels. La recherche de méthodologie de conception est un des piliers de l'équipe de recherche conception intégrée et le souhait a été de se focaliser sur la conception des systèmes produits-services. Cette thèse de doctorat est donc la première contribution en termes de structuration et d'outils de conception pour ce paradigme d'économie de service. Ce travail fait également partie d'une collaboration internationale de chercheurs sur le sujet de la conception des systèmes produits-services : *International PSS Design Research Community*¹.

Plan du manuscrit

Dans le chapitre 1, nous traitons du contexte générale de cette thèse et développons quelques exemples typiques de systèmes produits-services. Nous définissons également ce qu'est un système produits-services et voyons en quoi cela fait évoluer le problème de conception. Ceci nous permet de souligner les premiers éléments indiquant que la conception des SPS ne peut se faire de la même manière que la conception des produits "classiques".

Dans le chapitre 2, nous dressons un état de l'art des concepts de "*service*" en relation avec le monde de l'ingénierie. De l'élargissement du produit par des services techniques, aux systèmes "complets" de produits et services, nous détaillons les concepts montrant l'évolution du problème de conception. Nous ne traitons pas le service comme peuvent le traiter les gens du marketing. Nous détaillons également les méthodologies de conception qui existent pour concevoir les produits, les services et les systèmes produits-services. A partir de ce constat, nous posons les questions de recherche qui nous permettent de conduire la construction de notre démarche de conception.

Le chapitre 3 détaille la méthodologie que nous proposons. Basée sur une approche par les fonctions couplée avec une approche par les activités, cette démarche de conception permet de passer d'une analyse externe du système à une analyse interne des éléments qui le composent. L'un des principales atout de cette méthodologie est de pouvoir garder les relations qui existent entre les différents éléments du système. De plus, une évaluation des systèmes

¹<http://www.pssdesignresearch.org>

produits-services basée sur les boucles de conception est développée.

Le chapitre 4 est une application de notre méthodologie dans le cadre d'un projet industriel concernant la garantie de la réfrigération de câbles supraconducteurs assurant le transport d'énergie. L'objectif de ce projet n'est plus de vendre des réfrigérateurs au client mais de lui vendre du "service". Le client souhaite que l'entreprise lui assure la réfrigération de ses installations. Dans ce contexte, une forte contrainte de disponibilité est requise par le client. C'est un donc un système produits-services qui va être développé pour répondre à ce besoin. En appliquant notre méthodologie, nous voyons comment elle aide le concepteur à structurer la démarche de conception de l'analyse du système à l'analyse particulière d'un élément.

Enfin, les conclusions sur ces travaux sont présentées. L'apport de cette thèse par rapport aux conceptions existantes est identifié. Des perspectives de recherche sont décrites proposant de nouvelles pistes de recherche pour cette thématique très vaste.

Chapitre 1

Les systèmes produits-services : contexte et exemples

Nous allons traiter dans ce chapitre du contexte général dans lequel cette thèse s'inscrit. Les problèmes environnementaux, mais principalement la nécessité de se détacher de la concurrence conduisent les entreprises à vendre du service à la place de produits physiques. Ce sont des systèmes englobant des objets physiques et des unités de service qui vont ainsi fournir au client un résultat, une utilisation. Du point de vue de la conception des produits impliqués dans ces nouveaux systèmes, nous nous interrogeons sur les conséquences qu'a ce changement de paradigme de production/consommation sur les processus de conception. Les enjeux de ce chapitre sont donc :

- de présenter cette nouvelle économie de marché basée sur la fourniture de services ;
 - de présenter les enjeux économiques, sociaux et environnementaux de ces systèmes ;
 - d'illustrer ce nouveau paradigme par quelques exemples typiques
 - de définir et d'identifier les éléments impliqués dans ces nouveaux systèmes afin de voir les évolutions du problème de conception liées à cette vente de services.
-

1.1 Contexte : de la vente de produits à la fourniture de services

La prise de conscience des problèmes environnementaux sans précédent, mais surtout la très forte concurrence du marché conduit à remettre en question le modèle économique des sociétés. Basées principalement sur la vente de masse de produits, les entreprises se tournent désormais vers la fourniture de services et non plus vers la vente "seule" de produits physiques. Elles veulent désormais proposer plus de valeur à leurs clients par l'intermédiaire de ces services. Ceci se traduit aussi par une réponse plus rapide aux besoins du client. Par exemple, de plus en plus de compagnies emploient des

prestataires de service pour répondre à des demandes spécifiques sur des projets. Ceci permet de répondre plus rapidement à une demande fournissant une expertise particulière et par conséquent une valeur supplémentaire à la prestation. Une des pistes pour augmenter la valeur des produits manufacturiers est d'ajouter des services (Lagaronne *et al.*, 2003). L'ajout de services conduisant à l'augmentation de la valeur fournie au client permet également aux entreprises de se détacher de la concurrence. Le concept illustrant cette volonté d'élargir les frontières des produits vendus aux clients est le concept de produits étendus (Thoben *et al.*, 2001). Dans ce concept, c'est bien un ensemble composé du produit et de services annexes (par exemple une extension de garantie, des révisions produit, etc.) qui est fourni au client. Mais pour aller plus loin dans cette offre de service, le passage vers une économie de fonctionnalité développé par Giarini et Stahel (1990) est une piste importante. Dans cette économie de fonctionnalité, ce n'est plus un produit qui est vendu au client, mais un ensemble de produits et de services assurant à l'utilisateur une fonction, un résultat. On parle alors de systèmes produits-services. L'évolution se fait d'un produit physique "seul" vers un système global composé de produits et de services. Bien évidemment, ce changement radical n'est pas aussi trivial et bien souvent les entreprises se contentent "seulement" d'ajouter des services techniques aux produits.



FIG. 1.1 – De la vente de produits à la fourniture de service : de la voiture à la mobilité...

Nous illustrons nos propos par l'exemple de la voiture passant vers l'exemple de la mobilité (voir figure 1.1). Dans le premier cas, une voiture est achetée par un client qui en devient propriétaire, afin de couvrir ses besoins. Dans le second cas, on passe d'un produit seul à un produit élargi. Le client achète une voiture et étend les fonctionnalités de la voiture en y ajoutant des services supplémentaires. C'est le cas par exemple du service OnStar¹. Ce service pouvant être installé sur certaines voitures, permet au client d'avoir accès à des fonctions supplémentaires comme :

- le déblocage à distance des portières en cas d'oubli des clés dans la voiture ;
- la mise en relation avec un service d'assistance et de secours en cas d'accident ;
- le contrôle de la position du véhicule en cas de vol ;
- le diagnostic et le contrôle du bon état du véhicule.

Ces services supplémentaires permettent ainsi d'élargir les fonctions du produit. Dans ce cas, des modifications sont nécessaires pour implanter ce service sur le produit et ce n'est que sous certaines conditions que ce service peut être ajouté au véhicule (pays, marque, année, modèle, etc.).

Le service apportant le changement le plus radical par rapport à une voiture classique est le service de mobilité. Dans le cas du système Mobility², le client peut combiner différents modes de transport pour se déplacer. Ainsi, une combinaison "train-vélo-voiture" peut être réalisée pour aller d'un point A à un point B. L'objectif de ce système est de minimiser l'utilisation de la voiture uniquement pour des déplacements spécifiques et ainsi réduire les émissions de CO_2 produites. Des systèmes comme Zipcar³ ou Streetcar⁴ permettent au client de réserver à l'avance des créneaux horaires durant lesquels ils souhaitent utiliser les véhicules. Le véhicule est donc partagé entre différents utilisateurs et le taux d'utilisation est plus important que pour une voiture de particulier. Cela permet également de réduire le nombre de véhicules au sein de cette ville. Dans la région grenobloise, il existe également ce type de service avec un système de "partage" de véhicule (car sharing) nommé Alpes-AutoPartage⁵. Le fonctionnement est simple : les voitures sont équipées d'un ordinateur, d'un téléphone GSM et d'un GPS. Le téléphone sert aux communications entre le ordinateur et le serveur qui gère les réservations. Ce téléphone peut aussi servir au client à communiquer avec le central d'appels pour signaler un incident ou un retard. Le GPS installé

¹<http://www.onstar.com>

²<http://www.mobility.ch>

³<http://www.zipcar.com>

⁴<http://www.streetcar.co.uk>

⁵<http://alpesautopartage.eileo.org/ZenonV2/org/saPage.do>

à bord permet de transmettre toutes les informations relatives au trajet du client. Ainsi, le client ne paie que les déplacements qu'il fait durant la période de réservation.

A travers l'exemple de la voiture et de la mobilité, on voit bien que la société passe progressivement d'une économie basée sur la vente de masse de produits physiques vers une économie basée sur la provision de services. Mais ce passage ne peut se faire aussi directement. Par conséquent, les entreprises ont tendance à passer par une étape intermédiaire dans laquelle ils élargissent le produit par des services techniques supplémentaires (voir figure 1.2). Du point de vue de la conception, on peut donc s'interroger sur les conséquences de cette évolution en termes d'outils et méthodes qu'utilisent les ingénieurs pour concevoir ces nouveaux systèmes de produits et services. S'agit-il simplement d'adapter les méthodes actuelles ou y-a-t-il un changement fondamental dans la nature de la conception ? Le changement des méthodes de conception paraît quasiment inévitable tant les enjeux organisationnels, prépondérants dans ces systèmes, doivent être pris en compte dès les phases amont de la conception. Aussi, dans la suite de ce chapitre, les enjeux, qu'ils soient économiques ou environnementaux, sous-jacents à l'économie des services, sont détaillés. Le concept de "système produits-services" (SPS) est présenté afin de situer le cadre de nos travaux.

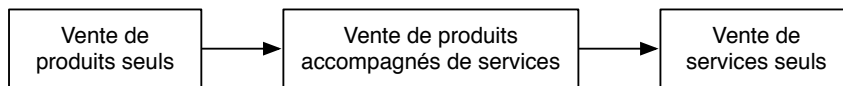


FIG. 1.2 – Transition du modèle économique : de la vente de produit à la fourniture de service

1.2 L'économie de services

1.2.1 Enjeux environnementaux et économiques

Les modes de consommation et production de masse ne sont plus soutenables et il est nécessaire de se tourner vers un paradigme post production de masse (Umeda *et al.*, 2000). Une des solutions envisagée est de se tourner vers une économie de services. Le passage de la vente d'un produit à celle d'un service est un des moyens pour les organisations de devenir durables (Bhamra *et al.*, 2001). L'objectif est de réaliser un découplage entre la croissance économique et les impacts sur l'environnement. Selon Tukker *et al.* (2006a), 2 types de découplage peuvent être envisagés :

1. Un découplage relatif : dans ce cas, les impacts sur l'environnement sont moins importants que la croissance économique ;
2. Un découplage absolu : dans ce cas, les impacts sur l'environnement diminuent alors que la croissance économique augmente.

Une des stratégies pour réaliser ce découplage est d'intensifier l'utilisation des produits en se focalisant sur la fonction et/ou le résultat à fournir au client et non plus vendre un produit physique. Dans cette optique, les systèmes produits-services permettent de répondre à cette stratégie. Goedkoop *et al.* (1999) définissent un système produits-services comme :

Product-Service system can be seen as a marketable set of products and services capable of jointly fulfilling a user's needs, provided by either a single company or a strategic alliance of companies.

L'objectif est de répondre aux besoins du client en proposant un ensemble de produits et de services. Dans cette définition, l'importance des choix stratégiques, c'est-à-dire les partenaires pouvant être impliqués, est également un facteur important de réussite. En plus de ces aspects produits, services et partenaires, l'aspect environnemental sous-jacent à ces systèmes est mis en avant dans la définition de Mont (2004) :

A product-service system is a system of products, services, networks of actors and supporting infrastructure that continuously strives to be competitive, satisfy customers' needs and have a lower environmental impact than traditional business models.

L'idée des systèmes produits-services est de penser fonction et non plus produit pour satisfaire les besoins du client. Ainsi, en ne fournissant qu'une utilisation (e.g. se déplacer d'un point A à un point B) ou un résultat aux clients (e.g. laver 4 kg de linge), il serait possible d'augmenter le taux d'utilisation des produits physiques. Par exemple, sur l'ensemble de la durée de vie d'une voiture, le taux d'utilisation journalier moyen n'est que de 20%. C'est pour éviter ce gaspillage en termes de non-utilisation que des systèmes comme le partage de voitures (*car-sharing* en anglais) ont été développés afin qu'une même voiture serve à plusieurs utilisateurs, idéalement 100% d'utilisation par jour sur l'ensemble de sa durée de vie. De ce fait, plus de clients pourraient satisfaire leurs déplacements avec moins de voitures. Ceci entraînerait donc une diminution de la consommation des matières premières (moins de produits à fabriquer) mais aussi moins de déchets créés (car moins de produits jetés). Mais là encore, la vente de services ne conduit pas forcément à un bénéfice environnemental automatique (Hirschl *et al.*, 2003). Mais

l'introduction d'un produit/service/système produits-services ayant des performances environnementales meilleures que d'autres systèmes peut entraîner un effet rebond (Hertwich, 2005). L'effet rebond est défini comme l'augmentation de la consommation liée à la réduction des limites à l'utilisation d'une technologie, ces limites pouvant être monétaires, temporelles, sociales, physiques, liées à l'effort, au danger, à l'organisation (Schneider *et al.*, 2001). Par exemple, si une personne achète une voiture qui consomme moins 2 fois moins que sa précédente voiture, mais l'utilise 3 fois plus (se disant qu'elle consomme moins...), alors l'impact écologique global sera plus important malgré une consommation plus faible.

1.2.2 Les systèmes produits-services (SPS)

Dans la littérature, un certain nombre de concepts traduisent cette volonté de fournir des services à la place de vendre des produits physiques. Ces concepts sont présentés dans le chapitre 2 page 26. Dans le cadre de notre travail de recherche, nous nous focalisons plus particulièrement sur les systèmes produits-services (SPS) (*Product-Service Systems* en anglais). Comme nous l'avons dit précédemment, pour obtenir un SPS performant il est nécessaire d'apporter plus de valeur que des produits vendus seuls aux clients. Aussi, nous nous rapprochons de la définition de Tan *et al.* (2007), dans laquelle les systèmes produits-services sont définis comme :

Product/service-systems (PSS) are innovation strategies where instead of focusing on the value of selling physical products, one focuses on the value of the utility of products and services throughout the product's life period.

La valeur fournie par le SPS doit être bénéfique à la fois au client et à l'entreprise. Cette valeur doit être pour le client un atout supplémentaire par rapport aux produits physiques seuls. Afin de justifier ce changement de paradigme de production, les entreprises elles aussi doivent trouver des bénéfices dans ces systèmes. En effet, la mise en place de ces nouveaux systèmes ne peut se faire sans une remise en question du modèle économique de l'entreprise. Celle-ci ne faisant plus de la vente de masse de produits physiques, elle devra donc faire des bénéfices non plus basés sur les économies d'échelle, mais un autre business model devra être élaboré. Dans le cadre de la vente de service, l'entreprise garantie au client la fonctionnalité fournie par le système. De ce fait, les bénéfices économiques seront faits sur le contrat qui sera établi entre le client et l'entreprise pour assurer cette disponibilité de la fonction et la performance attendue du système.

Mais pour se tourner vers ce nouveau paradigme, une remise en question du rôle de l'entreprise et de son organisation est nécessaire. Cela induit une nouvelle organisation interne et/ou la construction et le partage du business avec des partenaires. De plus, les concepteurs sont au cœur du développement de ces systèmes. Mais les enjeux de ces systèmes ne sont plus uniquement basés sur des aspects techniques et fonctionnels, mais des aspects organisationnels sont aussi mis en jeu, ce qui introduit une difficulté supplémentaire lors de l'implémentation de ce concept dans les entreprises (Cook *et al.*, 2006). Par conséquent, la frontière entre manager et concepteur n'est plus aussi simple que dans le cas de la conception des produits physiques dits "traditionnels" (Loi, 2004).

Ainsi, cette offre ne se base plus uniquement sur des produits physiques ou des services intangibles mais bien sur un mix des deux. Une typologie des SPS, basée sur plusieurs degrés de mixité entre les produits et les services, a été développée et sera détaillée dans la partie 2.1.4.2. La valeur n'est plus uniquement tirée du produit mais également du service rendu par le système.

1.3 Quelques cas emblématiques

Pour illustrer ce passage progressif de la vente de produits à la fourniture de services, différents exemples sont détaillés dans cette partie.

1.3.1 Le cas Vélo'v©

La ville de Lyon dispose depuis mai 2005 d'un nouveau système de location de vélos. L'innovation dans ce système réside dans le fait que ce n'est plus le vélo qui est loué, mais le client paie pour le temps d'utilisation. Ce service de location de vélos est un système produits-services puisque c'est l'utilisation qui est vendue. Dans un système de location "classique", le client emprunte le vélo pour une période de temps donné (e.g. pour une demi-journée ou une journée complète). De plus, le vélo loué doit être rapporté au point initial de location. Dans le cadre du système lyonnais, un vélo emprunté à un endroit peut être rapporté à un endroit différent. Ceci donne plus de flexibilité aux utilisateurs de ce service. C'est pour cela que des stations sont disséminées sur l'ensemble de la ville. Par exemple, un client souhaitant aller de la gare à la mairie emprunte un vélo à la station avoisinant la gare pour ensuite le rapporter dans une station près de la mairie. Comparativement à un système classique, des satisfactions supplémentaires peuvent être tirées de ce système. Le client dispose d'une plus grande liberté d'utilisation : lorsqu'il n'a plus besoin de son vélo, il le ramène à une station, terminant ainsi son

contrat. Les craintes liées au vol du vélo sont ainsi moindres puisque lorsque le client n'utilise pas le service, il n'est plus en contrat avec la compagnie d'exploitation. Ainsi il ne craint plus de laisser son vélo sans surveillance par peur d'un vol. Enfin, la maintenance des vélos n'est plus un souci pour le client car il a accès à des vélos en état de marche. Cependant, ce point devient primordial pour la compagnie d'exploitation qui doit s'assurer du bon fonctionnement d'un maximum de vélos/stations afin de garantir la disponibilité du service.

Ce qui peut être noté, c'est que le vélo impliqué dans ce système est différent d'un vélo "classique" qu'un client peut acheter dans un magasin de sport. Les spécificités de ce vélo par rapport à un vélo "classique" sont dues à la fois aux interfaces avec les autres éléments physiques, mais aussi aux conditions d'utilisation (solidité du cadre, moyeu arrière intégré, etc.). De plus, l'organisation globale de ce système a un rôle très important. En effet, pour assurer le bon état de marche des vélos, ainsi que la répartition des vélos entre les stations pleines et les stations vides, plusieurs entités sont impliquées. Ainsi, une unité de maintenance ainsi qu'une unité de régulation sont en charge d'assurer ces fonctions. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir une conception globale du système pour pouvoir inclure l'ensemble de ces éléments dans le processus de conception.

1.3.2 Le cas Xerox©

Le cas Xerox© est probablement le système produits-services le plus connu. Xerox© est en effet devenu une entreprise dont le modèle économique n'est plus basé sur la vente de photocopieurs mais sur leur location. Dorénavant, l'utilisateur paie pour utiliser la machine.

Dans le cas de Xerox©, la mise en place de ce nouveau modèle économique n'a pas été fait sans repenser la conception des photocopieurs. Pour ne pas perdre la valeur ajoutée des pièces encore en état de marche, des stratégies de remanufacturing ont notamment été mises en place afin de ré-introduire ces pièces dans d'autres équipements. Les appareils mis sur ce marché sont composés à 90% de pièces remanufacturées (Bourg et Buclet, 2005). Il est donc important de penser à la conception de ces nouveaux systèmes dans leur globalité, et non plus en se focalisant soit sur le produit physique ou sur le service (Maussang *et al.*, 2007a).

1.3.3 Le cas Electrolux©

Electrolux© a mis en place un système de location de machines à laver. Plutôt que d'acheter une machine pour laver son linge, le client paie par lavage effectué. Contrairement aux systèmes de laverie automatique, le client dispose de la machine à son domicile. Ainsi, la machine est disponible immédiatement et le client n'a pas besoin de se déplacer jusque la laverie, tout en étant sûr du bon fonctionnement de la machine. Si une panne se déclenche, alors un technicien se déplace directement chez le client pour diagnostiquer et dépanner le produit.

Dans ce système, la machine n'a pas subi de modifications spécifiques. C'est la ligne électrique de la machine qui a été adaptée pour permettre une facturation de l'usage en fonction de la consommation d'énergie. Néanmoins, cette expérience n'a pas pu continuer du fait de certains paramètres organisationnels (Bourg et Buclet, 2005). En effet, un partenaire intermédiaire entre le client/utilisateur et Electrolux© était en charge de la gestion électronique et de la facturation auprès du client. Mais il aurait été possible de proposer ce même service de lavage de linge à partir d'un autre équipement que celui fournit par Electrolux©, mettant ainsi en péril leur stratégie.

Ce cas illustre que l'on ne peut pas passer aussi simplement de la vente de produits à la fourniture de services. La conception de tels systèmes implique de prendre en compte à la fois les aspects techniques liés aux objets physiques, mais également l'inclure des aspects organisationnels, voire juridiques. Dans la partie suivante, nous définissons ce qu'est un système produits-services et détaillons également les différents éléments impliqués dans ces systèmes.

1.4 Eléments relatifs aux systèmes produits-services

Dans ce travail de recherche, nous nous plaçons dans le cadre des systèmes produits-services. Les systèmes produits-services soulignent bien le fait qu'il ne faut plus penser uniquement produit physique mais bien fonction, utilisation, résultat réalisés par l'intermédiaire d'un système global. La définition que nous donnons d'un système produits-services est la suivante :

Un système produits-services (SPS) est un système comprenant des objets physiques et des unités de service ayant des relations. Ces relations sont dues à l'organisation du système.

Dans cette définition, deux choses importantes apparaissent :

Les éléments du système Deux types d'éléments sont identifiés dans ces systèmes, à savoir les objets physiques et les unités de service ;

L'organisation du système Pour un ensemble d'éléments, différentes relations et liens peuvent être choisis conduisant ainsi à différentes organisation de système.

Comme le schématise la figure 1.3, le concepteur doit donc s'attacher à concevoir un système global composé d'objets physiques et unités de service, ayant des relations particulières, dans le but de fournir à un client un usage, un résultat ou une fonction particulière.

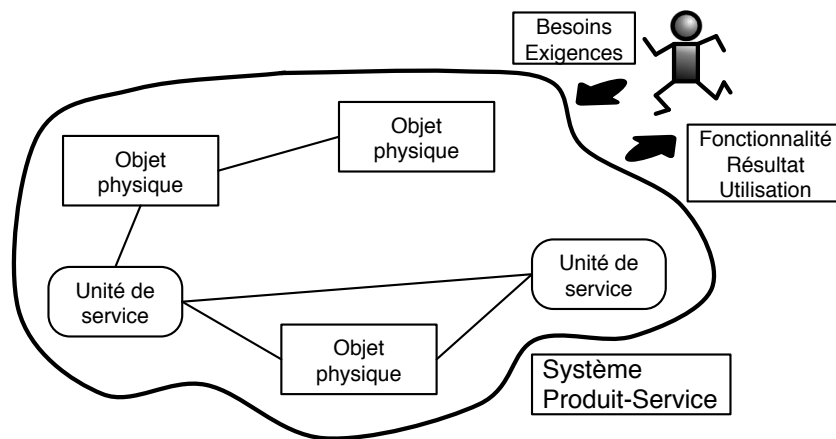


FIG. 1.3 – Description d'un système produits-services

1.4.1 Les objets physiques

Les objets physiques impliqués dans ces systèmes sont les entités tangibles qui vont fournir un certain nombre de fonctions techniques au client. Par exemple, dans le cadre d'un SPS de mobilité, la voiture sera un des objets physiques du système. Pourquoi différencier les produits des d'objets physiques ? Si on parle de produit, on se place plutôt dans le cadre d'une vente d'un produit physique que le client achète. Nous traitons des objets physiques dans un système global qui fournit un service à un client. On ne se focalise donc pas uniquement sur les produits impliqués dans ces systèmes mais sur le système dans sa globalité.

1.4.2 Les unités de service

Les unités de service sont les entités qui vont fournir des fonctions supplémentaires au client. Ces fonctions peuvent avoir un caractère technique, par exemple dépanner les objets physiques du système, mais également un aspect d'assistance, par exemple former le client à l'utilisation du système, le renseigner, etc. Dans le cadre d'un SPS de mobilité, une des unités de service est l'unité de réservation. Cette unité, en relation avec le client, a pour but de permettre au client de réserver un objet physique (en l'occurrence la voiture) avant qu'il puisse l'utiliser. Cette unité de service assure ainsi au client une certaine fonction d'assistance. Il est évident que les unités de service peuvent également comporter des objets physiques. Par exemple, une unité de maintenance se déplaçant pour aller réparer un objet physique aura besoin d'un véhicule. Ces objets physiques apparaîtront lors de l'analyse détaillée de l'unité de service.

1.4.3 Le rôle de l'organisation

Dans les parties précédentes, nous avons montré que les systèmes produits-services étaient composés d'objets physiques et d'unités de service. Pour que le système fonctionne dans sa globalité, il est nécessaire que des liens entre ces éléments existent. De plus, les activités réalisées au sein de ces systèmes sont réalisées par les objets physiques, les unités de service, ou une combinaison des deux. Nous entendons par organisation les relations qui existent entre les différents éléments du système (objets physiques ou unités de service). Cette notion d'organisation rejoint également la nécessité d'identifier des partenaires pouvant être impliqués dans le SPS. En effet, pour intégrer l'ensemble des partenaires au sein du système et ainsi assurer le bon déroulement du service, il est nécessaire de détailler le rôle de chacun des acteurs. Donc, la mise en place de l'organisation, que ce soit pour détailler les liens entre les différents éléments et leur fonctionnement au sein de ce système, ou bien pour définir le rôle des différents partenaires, doit être faite durant la conception globale du système. Dans le cadre du développement de produits physiques, les aspects organisationnels étaient pris en compte a posteriori du développement du produit (mise en place de la supply chain). Dans le cadre du développement des systèmes produits-services, cette identification de la chaîne logistique doit se faire dès les phases amont dans le but de contrôler la pertinence économique du système. En effet, l'organisation va de paire avec la recherche de partenaires et sous-traitants s'impliquant dans le système. Il faut donc que les concepteurs puissent développer à la fois les produits physiques mis en jeu dans ces systèmes mais également définir l'organisation

générale du système. La mise en place de cette organisation est un élément incontournable à prendre en compte pour assurer le bon développement de la solution intégrée produits-services. C'est ce que Mont (2004) définit comme le réseau d'acteurs.

1.4.4 Augmenter la valeur des systèmes produits-services

Les entreprises sont aujourd'hui préoccupées par la valeur qu'elles retirent des produits/services qu'elles mettent sur le marché. Elles souhaitent également fournir plus de valeur à leurs clients en étoffant leurs offres par des services. Mais lorsque l'on parle de valeur, quelles définitions peut-on donner ? Lorsque l'on étudie la notion de valeur, plusieurs définitions apparaissent. Dans la définition de Tan *et al.* (2007), les systèmes produits-services sont définis comme des stratégies d'innovation qui doivent se focaliser sur l'utilité des produits et services durant l'ensemble du cycle de vie. Traditionnellement, la valeur des produits était principalement produite durant la phase de fabrication. Aujourd'hui, les entreprises peuvent retirer de la valeur de leurs produits lors des phases de maintenance, de formation à l'utilisation, de fin de vie, etc. Il est ainsi nécessaire d'identifier quelles valeurs sont apportées à la fois à la compagnie mais également au client.

Dans l'analyse de la valeur (Miles, 1971), la valeur est définie comme le ratio de la fonction sur le coût économique. Par conséquent, l'augmentation de la valeur peut se faire de 2 manières :

- à coût égal, on peut proposer plus de fonctions ;
- à fonctions égales, que les coûts deviennent moins importants.

Dans la description de chaînes de valeur comme celle faite par Donaldson *et al.* (2006), l'identification de valeur se base sur des critères économiques. Nous pensons néanmoins que la valeur n'est pas seulement économique. Dans le cadre des systèmes produits-services, la valeur qui peut être retirée par un client peut être d'ordre affectif, social. De plus, la disponibilité du service ainsi que son accessibilité peuvent être des sources de valeur. Prenons l'exemple d'un service de transport en commun. Si une ligne de transport en commun se trouve à 1 kilomètre d'un client, ce dernier ne l'utilisera probablement pas. Cela lui demandera peut-être un effort physique trop important, ou bien parce que c'est plus rapide pour lui de prendre sa propre voiture que de se déplacer jusque la ligne de transport en commun. Concernant la disponibilité du service, si des navettes ne passent que toutes les 2 heures, cela n'encouragera pas non plus le client à utiliser ce service. Accessibilité et disponibilité sont donc des facteurs essentiels incitant les clients à utiliser ces systèmes. Par conséquent, lorsque l'on parle de valeur, il ne faut pas

se restreindre aux seuls aspects économiques. Ainsi, des coûts physiques et cognitifs peuvent être pris en considération pour évaluer de la valeur des services.

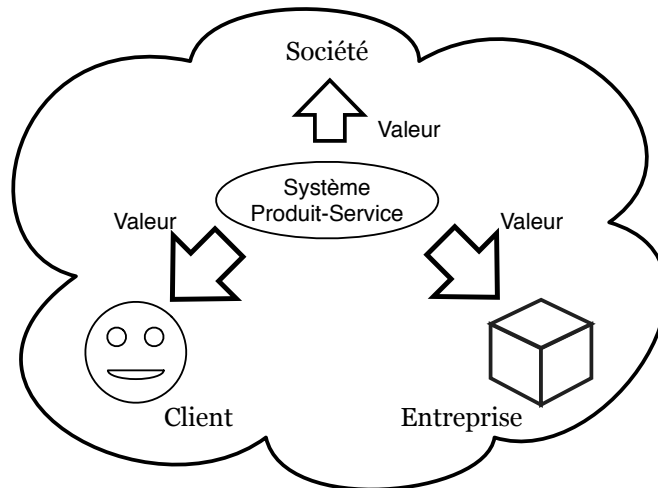


FIG. 1.4 – Parties prenantes recevant de la valeur des systèmes produits-services

Dans le cadre des systèmes produits-services, nous argumentons que ces systèmes sont sources de valeur pour 3 parties prenantes qui sont le client, l'entreprise qui fournit le système et la société d'une manière générale dans laquelle se trouvent le client, l'entreprise et le SPS (voir figure 1.4). Le système doit permettre de fournir de la valeur au client (par l'intermédiaire des fonctionnalités par exemple), mais également à la compagnie qui le met sur le marché (e.g. valeur engendrée par les profits réalisés, l'extension d'une nouvelle gamme de services, etc.) et d'une manière plus globale la société "toute entière" doit retirer de la valeur de ces nouveaux systèmes (e.g. valeurs environnementale et sociale). La valeur environnementale est dépendante des activités du système et de la manière dont elles sont réalisées (type d'énergie, émissions produites par les activités du système, etc.). Par exemple, est-ce que le déplacement d'un technicien pour réparer un élément physique en panne va être fait à l'aide d'un véhicule électrique ou à énergie thermique, ou bien encore un scooter/vélo ? Au regard des aspects sociaux, ce sont des éléments relatifs aux conditions de travail de l'employé, la provenance de l'employé, les conditions sanitaires et médicales : est-ce que la personne embauchée est issue de la région ou bien est-ce que c'est de la main d'œuvre venu de pays "low cost" ? Ainsi, si une évaluation de ces différentes valeurs

apportées par les SPS doit être réalisée, elle ne pourra pas être faite sans prendre en compte ces relations entre la société, le client et l'entreprise fournissant le SPS.

Que ce soit pour un produit physique ou un service, le client veut qu'il réponde à ses attentes, à ses besoins. Si le produit (ou le service) satisfait le client, celui-ci lui attribuera une certaine valeur.

En mettant en avant la valeur comme élément extérieur influençant la conception des systèmes produits-services, l'objectif est que le concepteur intègre cette notion durant les phases amont de conception. Pour faciliter l'intégration de la valeur durant la conception des SPS, il est nécessaire de mettre en place des critères implémentables et traçables durant le processus de conception. Sakao et Shimomura (2007) définissent la valeur comme le changement d'état du receveur du service. Les fonctions sont les éléments techniques permettant de réaliser ce changement. Mais la valeur est souvent vue comme quelque chose de subjectif et variant d'une personne à une autre. C'est en ce sens qu'une des caractéristiques d'un service est l'hétérogénéité. Cette hétérogénéité traduit le fait que la satisfaction retirée d'un service varie d'une personne à une autre. Aussi, la valeur intrinsèque liée à ces services peut être perçue différemment selon le client. Il serait néanmoins important d'intégrer cette notion de valeur dans le processus de conception des systèmes produits-services.

1.5 Evolution du problème de conception

La principale difficulté dans la conception de ces systèmes réside dans le fait que l'hétérogénéité des éléments impliqués entraîne une modélisation différente d'une modélisation produit ou d'une modélisation service (Maussang *et al.*, 2007a). Plus que la modélisation elle-même des systèmes, la conception de ces systèmes devra prendre en compte un certain nombre d'éléments qui n'étaient pas pris en compte durant les phases amont de la conception de produits. Parmi ces éléments, on retrouve la valeur, les partenaires impliqués, l'organisation mise en place ainsi que les considérations économiques, environnementales et sociales.

1.5.1 Les frontières de l'étude

Généralement focalisés sur le produit, les concepteurs développant les systèmes produits-services doivent élargir la frontière de leur étude. Les produits physiques ne sont plus les éléments centraux dans le processus de concep-

tion, mais c'est bien le système dans sa globalité qui doit être considéré. Il est tout d'abord essentiel d'identifier les besoins du client. Ces besoins se traduisent la plupart du temps en utilisation, résultat ou fonction. Pour satisfaire ces besoins, le concepteur peut alors envisager différentes solutions basées sur des produits, des services ou bien un système produits-services. Le concepteur ne doit pas se limiter à des solutions orientées produit.

De plus, les éléments impliqués dans ces systèmes sont dépendants les uns des autres par les relations qu'ils ont. Ainsi, une conception focalisée sur le produit uniquement (ou inversement sur le service) ne permettrait pas la prise en compte des relations avec les autres éléments du système. Or, les liens entre éléments peuvent provoquer des modifications/adaptations sur les éléments. Prenons l'exemple d'un système produits-services pour lequel le client paie par utilisation. Un objet physique est utilisé par le client. Pour assurer le bon fonctionnement de ce produit, une unité de maintenance est mise en jeu dans le système. Il faut donc qu'il y ait une relation entre le produit et l'unité de maintenance pour garantir les fonctionnalités attendues par client. Ainsi, une relation d'information mais également d'intervention pour dépanner le produit existera avec l'unité de maintenance. Par conséquent, si cette relation n'est pas prise en compte durant le développement du système, et en particulier lors du développement de l'unité de maintenance, alors le système ne pourra pas satisfaire globalement le client (pas de communication entre le produit et l'unité de maintenance, outils non adaptés entre le produit et l'unité de maintenance, etc.).

1.5.2 Sous-traitants et partenaires

Dans le cadre d'une offre de service à la place d'une vente de produits, les seules compétences industrielles du fournisseur ne sont pas suffisantes. Comme un certain nombre d'activités liées aux unités de service sont mises en place pour garantir les fonctionnalités du produit (par exemple assistance, dépannage, etc...), il est nécessaire pour l'entreprise d'élargir ses partenariats ou bien de revoir son organisation. Dans la définition des SPS faite par Goedkoop *et al.* (1999), ces systèmes sont fournis par une entreprise ou une alliance d'entreprises. Comme on élargit les frontières du système proposé, on doit également élargir les frontières de l'entreprise pour aller vers des entreprises étendues (Thoben *et al.*, 2001). Aussi, il est nécessaire d'identifier dès les premières phases de la conception les partenaires susceptibles d'être impliqués dans le projet. Comparativement à une conception de produits "seuls", l'identification des partenaires ne se fait qu'une fois l'architecture du produit suffisamment avancée. C'est en ce sens là que les partenaires doivent être identifiés et pris en compte dans les phases amont de la conception de

ces systèmes. Comparativement à la démarche d'ingénierie des services de Sakao et Shimomura (2007), la modélisation des différents acteurs est la première étape dans ce processus de conception. L'identification des partenaires dans les phases amont va permettre au concepteur de rechercher des services supplémentaires à mettre en place dans le système. Ceci permettra donc d'augmenter la valeur globale du système.

1.5.3 Coût économique

Pour que les entreprises se tournent vers la provision de service et que les consommateurs "consomment" des services, il est nécessaire de montrer l'avantage économique de ces systèmes. Dans cette optique, les compagnies doivent se placer dans des stratégies "gagnant-gagnant". Ceci implique qu'à la fois l'entreprise, mais aussi les clients trouvent des avantages dans ces systèmes. Par conséquent, il est nécessaire d'évaluer du point de vue économique ces systèmes. Le coût des services techniques est fortement lié à la performance même des objets physiques. Dans le cadre d'un système de location de vélos, comment permettre aux concepteurs de juger si l'on doit mettre un produit plus robuste supportant les différentes utilisations qui seront faites, ou bien mettre une unité de maintenance plus performante pour réparer les vélos. L'évaluation doit donc permettre de trouver le meilleur compromis entre la fiabilité de l'objet et la taille de l'unité de maintenance.

1.5.4 Considérations environnementales et sociales

Si l'on considère les systèmes produits-services du point de vue du développement durable, il est alors nécessaire de prendre en compte les aspects social et environnemental durant la conception. Du point de vue environnemental, les systèmes produits-services ne sont pas forcément la panacée pour répondre au problème environnemental majeur qui se pose à notre société. Certains points particuliers doivent être mesurés à leur juste valeur et un des points "noirs" dans la consommation de service est l'effet rebond. Dans une démarche d'analyse du cycle de vie, les aspects environnementaux sont identifiés et quantifiés. Nous souhaitons intégrer dans notre méthodologie des critères environnementaux. Cet aspect est traité dans le chapitre 3, partie 3.5, page 107. Concernant l'aspect social des systèmes produits-services, ce sont surtout des approches a posteriori qui sont faites. Maxwell et van der Vorst (2003) traitent du développement des services du point de vue du développement durable. L'aspect social des systèmes produits-services est contrôlé durant les différentes phases du cycle de vie du système. Les critères sociaux adressent principalement les droits, la santé, les investissements lo-

caux engendrés par ces nouveaux services ainsi que les conditions d'emploi des ouvriers. Dans le cadre de ce travail de recherche, les aspects sociaux ne sont pas traités.

1.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le contexte dans lequel ces nouveaux systèmes produits-services sont développés. Des cas typiques de systèmes produits-services ont été présentés dans la partie 1.3, ainsi que les enjeux économiques et environnementaux attendus de ces nouveaux systèmes.

Dans le cadre de ce doctorat, nous nous intéressons particulièrement aux SPS contenant des produits (objets physiques). Un des objectifs de ce travail est de voir les conséquences sur le processus de conception de ces systèmes du point de vue des concepteurs de produits. Nous pensons que la conception des produits inclus dans ces systèmes doit être différente des processus de conception "classique" des produits vendus seuls. En effet, on voit qu'en considérant les produits (objets physiques), les services (unités de service) et leurs interactions pendant le processus de conception, on élargit le problème de conception. Il va être nécessaire de passer d'une conception du produit à une conception plus globale du système. Dans ces systèmes, le client tient une place centrale et il est ainsi nécessaire d'intégrer durant le processus de conception les interactions qui peuvent se produire entre le client et le système. Ceci permettra par exemple de proposer de nouvelles fonctionnalités du système, de proposer des solutions ergonomiques pour faciliter l'utilisation du système, etc. Mais pour arriver à ces buts, un certain nombre de questions surviennent :

- Est-ce que toutes les approches de conception existantes aboutissent à des solutions produits-services intégrées ?
- Quels sont les nouvelles méthodes, les nouvelles représentations nécessaires pour supporter le développement des systèmes produits-services ?

Dans ce contexte et à partir des quelques exemples et définitions des systèmes produits-services, nous pouvons mettre en avant les premiers éléments de la problématique que nous traitons dans ce travail de recherche. La conception des objets physiques mis en jeu dans ces systèmes doit être remise en cause du fait des interactions qui existent entre les différents éléments du système. Ces systèmes doivent être développés d'une manière globale avant de pouvoir passer à une conception détaillée des éléments impliqués dans ces systèmes.

Nous traitons ainsi dans le chapitre suivant des différents concepts de

systèmes produits-services existants ainsi que leurs particularités. Nous nous intéressons également aux différentes méthodes de conception existantes afin de voir si elles sont utilisables dans le cadre du développement de ces nouveaux systèmes.

Chapitre 2

Les systèmes produits-services : concepts et méthodologies existantes

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, ces systèmes produits-services doivent être développés de manière globale. Le concepteur ne doit pas se focaliser uniquement sur le produit physique étant donné que des interactions existent avec les autres éléments du système. Pour qualifier cette nouvelle vente de services en lieu et place du produit, plusieurs concepts émergent. De plus, un certain nombre de méthodologies orientées conception de produits, de services ou de systèmes produits-services peuvent être employées. La première partie de ce chapitre se focalise donc sur les principes existants pour qualifier ces nouveaux ensembles de produits et services. Dans la deuxième partie, nous étudions les principales méthodologies de conception pouvant être utilisées pour concevoir des produits, des services ou des systèmes produits-services. À partir de cette analyse, l'identification des points essentiels à prendre en compte dans la conception des SPS sera faite. L'objectif de ce chapitre est donc :

- de faire un état des lieux des concepts "service" existants ;
 - de voir les différentes méthodologies de conception pouvant être utilisées pour développer les systèmes produits-services ;
 - d'identifier les éléments essentiels au bon développement de ces systèmes.
-

2.1 Les concepts produits-services

2.1.1 Les produits étendus

Le premier concept émergent est celui des produits étendus. La fourniture de services à la place de la vente de produits est réalisée par l'intermédiaire d'un ensemble de produits et de services. Les frontières de l'objet de l'étude ne sont donc plus limitées au produit mais élargies aux services (techniques ou non) qui sont ajoutés au produit durant son cycle de vie (Hirschl et Eschenbächer, 2000). Les produits étendus mettent en avant le besoin pour les industries d'attacher plus de valeur aux produits qu'ils conçoivent afin de

se détacher de la concurrence. Comme le montre la figure 2.1, les produits étendus sont composés d'un produit principal, auquel sont ajoutés des produits physiques et des services annexes augmentant ainsi les fonctionnalités du produit initial. Cet ensemble dispose ainsi d'une valeur ajoutée supplémentaire par rapport au produit principal du fait des éléments (produits ou services) qui y sont ajoutés.

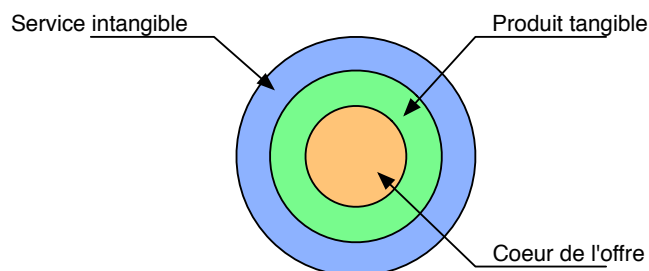


FIG. 2.1 – Les produits étendus

Dans un paradigme de production de masse, les compétences des entreprises étaient principalement liées à la fabrication et la production de biens. Mais pour se tourner vers la vente de services, les entreprises doivent elles aussi étendre leurs compétences "de base" vers des compétences liées aux services ajoutés dans les produits étendus (par exemple le support de l'information, la maintenance, etc.). Il est ainsi nécessaire de faire appel aux compétences de compagnies partenaires. C'est pour cette raison que l'on parle également d'entreprises étendues (Thoben *et al.*, 2001). Le développement du concept de produit étendu a été réalisé au sein du projet Expide¹. Parallèlement à ce projet, la plate-forme technologique Manufuture² dont l'objectif est d'augmenter les performances et la valeur des entreprises manufacturières en proposant de nouveaux concepts, de nouvelles méthodes, met en avant la nécessité de passer de la vente de produits à la provision de produits étendus (Manufuture, 2006, p. 14).

La vente de services doit conduire à des solutions gagnant-gagnant pour le client et l'entreprise (Jansson *et al.*, 2003). Concernant les entreprises fournissant ce type de solutions, un des points importants est l'acquisition des connaissances sur le produit. Traditionnellement, une fois que l'entreprise a vendu son(s) produit(s) à un client, bien souvent il n'y a pas de retours d'expérience sur le produit. Dans le cas où l'entreprise resterait propriétaire des produits proposés au client, elle pourrait alors savoir ce qui n'a pas fonctionné, les usages non prévus du produit, les points faibles à améliorer dans

¹<http://www.expide.org/content/default.asp>

²<http://www.manufuture.org>

le système, etc. Ces retours d'information doivent être faits pour améliorer le système et le service proposé au client. Dans le cadre du développement du service dans l'industrie des machines-outils, les travaux de Seliger *et al.* (2008) montrent que l'acquisition de connaissances sur l'utilisation des équipements peut permettre d'optimiser les machines et proposer de nouvelles solutions aux clients. En ce sens, des travaux sont menés sur ce sujet comme par exemple le projet Promise³ ou bien encore (Jun *et al.*, 2007). Par conséquent, le fournisseur garde la connaissance de ses équipements et peut ainsi adapter à la fois les services à son produit, mais aussi le produit lui-même. Pour le client, l'ensemble qui lui est proposé peut être personnalisé selon ses besoins. Il répondra ainsi au plus près de ses exigences. Le cœur du produit ne change pas mais ce sont les produits et les services qui l'entourent qui seront adaptés.

Ce concept de produit étendu montre la volonté des entreprises de proposer plus de valeur, mais également de garder la connaissance sur la manière d'utiliser les produits qu'elles conçoivent. L'ajout de services autour du produit pour augmenter la valeur de l'offre ne semble pas remettre en cause la conception même du produit. Ainsi, pour assurer un découplage absolu, il est nécessaire d'apporter une rupture par rapport aux modes de production actuels. Ainsi, pour aller plus loin dans cette démarche, la fourniture de fonctionnalité est une des pistes envisagées.

2.1.2 L'ingénierie des services

La vente de services est une piste envisagée pour changer de paradigme de production et consommation. Pour proposer plus de services à la place des produits et traduire cette volonté de concevoir des services, Tomiyama (2001) traite de l'ingénierie des services (Service Engineering). Dans l'ingénierie des services, le service est défini comme une activité provoquée par un fournisseur afin de changer l'état existant d'un receveur à un état qu'il désire. Le receveur du service reçoit du fournisseur un contenu (matériel, énergie et/ou information) par l'intermédiaire d'un moyen (voir figure 2.2).

Le moyen consomme de l'énergie et des matériaux. Dans le cadre d'un prestataire fournissant du linge propre à un hôtel, le contenu de ce service sera le linge propre, alors que le moyen sera la machine à laver ainsi que le véhicule qui livrera l'hôtel. Par conséquent, l'ensemble des activités entrant en jeu dans les relations entre les acteurs a un impact sur l'environnement (e.g. transport, lavage, etc.). L'objectif de l'ingénierie des services est d'améliorer le service proposé au client tout en diminuant les charges sur l'environnement.

³Plus d'informations sur www.promise-plm.com

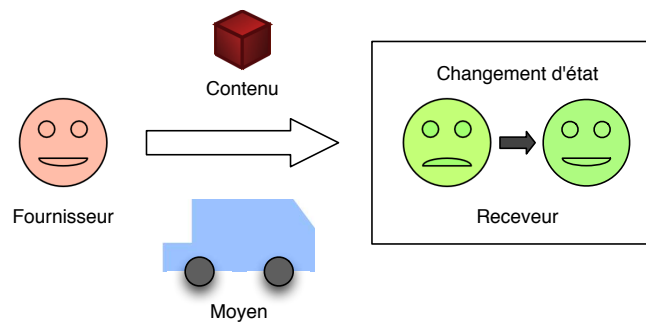


FIG. 2.2 – Définition du service dans le cadre de l'ingénierie des services

De plus, le changement d'état du receveur est influencé par la valeur fournie par le service. Kahle *et al.* (1986) ont détaillé une liste de valeurs permettant de caractériser la valeur retirée d'un produit (ou d'un service). Les différentes valeurs identifiées sont :

- sentiment d'appartenance ;
- épanouissement de soi ;
- amusement et plaisir de la vie ;
- relations chaleureuses avec les autres ;
- être respecté ;
- excitation ;
- sens de l'accomplissement ;
- sécurité ;
- le respect de soi.

L'exemple d'une chambre d'hôtel est utilisé pour illustrer les différents éléments inclus dans l'ingénierie des services (contenu, moyen). Un client désirant une chambre d'hôtel sera satisfait du service en fonction des différents "paramètres" de la chambre comme la luminosité, la propreté du linge, l'ambiance de la pièce, etc. Le moyen de ce service est la chambre d'hôtel ainsi que tous les éléments en relation avec la chambre. Dans cette relation "hôtel-client", c'est un ensemble d'agents qui participe à la bonne délivrance du service. En effet, le tenancier de l'hôtel fait appel à des fournisseurs lui nettoyant le linge, faisant le ménage, etc. Il n'y a donc pas uniquement des relations entre le client final et le tenancier de l'hôtel, mais les relations des différents intervenants de l'ensemble du système ont une importance particulière. Par exemple, la bonne relation entre le gérant de l'hôtel et le fournisseur de linge propre participera à la satisfaction finale du client. Si le linge qui est fourni au tenancier n'est pas de bonne qualité, alors le client ne sera pas content et la valeur retirée de ce service sera donc faible. C'est donc l'en-

semble de la chaîne des acteurs impliqués dans le service qui a une influence sur le service final rendu au client (voir figure 2.3).

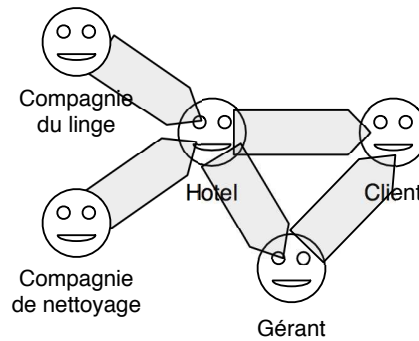


FIG. 2.3 – Liens entre les acteurs impliqués dans un service d'hôtel

2.1.3 L'économie de fonctionnalité

Giarini et Stahel (1990) ont été les premiers à discuter de la nécessité de se tourner vers une économie de services. L'objectif est de vendre une performance en lieu et place de biens physiques. Fournir une performance au client à la place des produits est aussi un moyen de garantir continuellement ses besoins. Les objets que l'on possède sont souvent renouvelés pour avoir l'objet "dernier cri". Ce renouvellement perpétuel entraîne donc une explosion de la production de déchets. Du point de vue écologique, la fourniture de performance permettrait donc de maîtriser cette production de déchets, et par la même occasion de limiter la consommation de matières premières. La philosophie de l'économie de fonctionnalité est également de remettre en question le comportement des consommateurs. Comme le dit Tukker (2005), l'augmentation du PIB des pays développés n'a pas conduit automatiquement à une augmentation de la qualité de vie des personnes. Autrement dit, une consommation de plus en plus importante ne conduit pas forcément à un meilleur bien être ou confort personnel.

Il est clair que le passage vers ce modèle économique n'est pas sans conséquence sur la stratégie de l'entreprise (Bourg et Buclet, 2005). Un des principaux changements dans cette économie est que l'entreprise reste propriétaire des biens qu'elle fournit à ses clients. Bien souvent, les économistes ne veulent pas se tourner vers ce type d'économie, craignant ainsi de perdre le sésame de l'économie d'échelle (Stahel, 2001). Cependant, quelques entreprises ont su allier correctement économie de service, remise en cause de leur organi-

sation et nouveau modèle économique. Comme nous l'avons montré dans la partie 1.3.2, Xerox a réussi à se tourner vers ce nouveau modèle économique en remettant en cause à la fois son organisation mais également la conception de ses équipements. Par conséquent, pour arriver à se tourner efficacement vers ce nouveau mode de production, il est nécessaire de repenser la manière dont sont conçus les éléments physiques du système. De plus, l'aspect organisationnel sous-jacent à ces systèmes est également un élément capital dans le succès de ces nouveaux services.

2.1.4 Les systèmes produits-services

Le concept le plus utilisé pour parler de l'économie de service est sans aucun doute le principe de système produits-services (Product-Service Systems en anglais). Afin d'implanter ce concept auprès des scientifiques et des industriels, plusieurs projets européens ont été consacrés au développement des systèmes produits-services (SPS). Parmi ces projets, on peut citer :

M**ethodology for Product-Service Systems** L'objectif du projet MEPPS est de réaliser une méthodologie permettant de développer des systèmes produits-services du point de vue du développement durable⁴. Cette méthodologie sera développée dans la partie 2.2.4.1, page 62.

H**ighly Customerised Solutions** Le but du projet HiCS est la création de solutions industrielles soutenables pour la livraison de l'alimentation en limitant les déplacements. Pour assurer le succès du développement de ces solutions, les partenariats entre les différentes sociétés impliquées sont également un élément majeur de réussite.

P**roduct-Service Co Design** Pour soutenir les entreprises dans le développement des produits-services, une méthodologie a été développée afin d'identifier des opportunités de développement en termes de produits-services (voir figure 2.4). Une boîte à outils a été développée pour supporter cette méthodologie et est décomposée en selon les étapes suivantes :

- identifier les nouveaux besoins insatisfaits des clients et faire émerger des idées pour y répondre ;
- implémenter ces idées en solutions produits-services ;
- faire le lien entre la génération d'idées et l'implémentation afin de déterminer les besoins des compagnies.

Dans ce projet, les objets physiques impliqués dans ces nouvelles solutions ne sont pas identifiés et par conséquent les liens avec les autres

⁴[http ://www.mepss.nl](http://www.mepss.nl)

éléments du système ne sont pas identifiés. De plus, l'évaluation des innovations faites dans le cadre de l'identification des nouvelles opportunités est principalement basée sur des critères économiques.

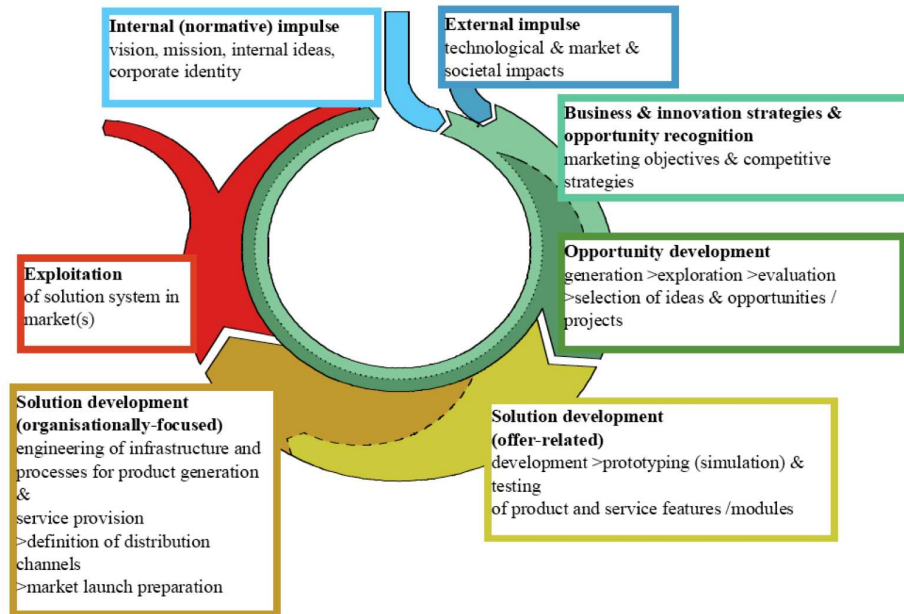


FIG. 2.4 – Processus générique de co-développement des produits-services

Homeservices L'objectif de ce projet est de mettre en place des services substituant les produits utilisés dans le cadre d'activités faites dans les maisons ou bien à l'extérieur afin de diminuer les impacts environnementaux. Ce projet est focalisé sur une niche que sont les services à domicile (loisirs, santé et supervision de la maison, sécurité, mobilité, etc.). L'un des éléments majeurs pour développer ces nouveaux services est basé sur des enquêtes et questionnaires auprès des utilisateurs pour voir quelles sont leurs attentes en termes de service (Halme *et al.*, 2004).

Innovation Studio and Exemplary Developments for Product-service

Ce projet avait pour but de créer un studio de l'innovation basé sur une méthodologie décomposée en 4 étapes, les *4Ts* (voir figure 2.5) :

- faire émerger de nouvelles idées ;
- les intégrer dans le cadre de l'organisation de l'entreprise concernée avec les outils existants ;
- apporter des solutions innovantes ;
- tester les performances des solutions proposées.

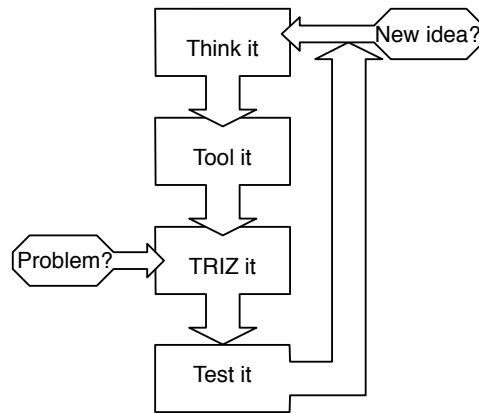


FIG. 2.5 – Etapes caractéristiques du projet Innopse

2.1.4.1 Définition

Plusieurs définitions des systèmes produits-services existent. Tukker *et al.* (2006b) définissent les systèmes produits services comme :

Product-Service is a value proposition that consists of a mix of tangible product and intangible service designed and combined so that they jointly are capable of fulfilling final customers' needs.

Product-Service System is the product-service including the (value) network, (technological) infrastructure and governance structure (or revenue model) that "produces" product-service.

Dans ces définitions, l'accent est mis sur la valeur que peuvent fournir aux clients et aux entreprises proposant ces nouveaux systèmes, tout comme Tan *et al.* le définissent. Nous pouvons noter que dans ces définitions, l'aspect environnemental n'est pas inclus. Par contre, Mont (2004) met en avant cet aspect dans sa définition des SPS qu'elle définit comme des systèmes de produits, services et infrastructure conçus pour être compétitifs, satisfaisant les besoins du client tout en limitant les impacts sur l'environnement par rapport à des business model traditionnels. Il est à noter que la valeur fournie par ces systèmes n'est pas la même suivant le ratio entre les produits et les services mis dans ces systèmes. C'est ce qui est détaillé dans la partie suivante.

2.1.4.2 Typologie des systèmes produits-services

Les systèmes produits-services sont un mix entre des entités tangibles et des services intangibles. La valeur globale de ces systèmes dépend de la valeur fournie par le(s) produit(s) et de la valeur fournie par le(s) service(s). Comme le montre la figure 2.6, chaque type de SPS propose au client une valeur différente basée sur plus ou moins de produits/services.

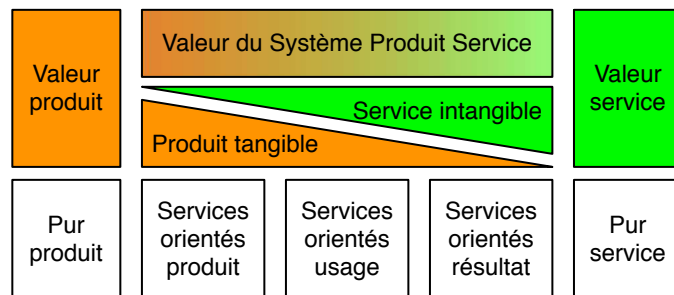


FIG. 2.6 – Typologie des systèmes produits-services

Pour illustrer la typologie décrite figure 2.6, nous prenons l'exemple d'une personne voulant photocopier un document. Le premier cas de figure est celui dans lequel le client achète un photocopieur. La vente traditionnelle de photocopieurs peut s'accompagner de services techniques tels qu'une extension de garantie, une disponibilité de pièces de rechange, mais aussi de services d'assistance et de formation (par exemple un certain nombre d'heures de formation). Dans ce cas-là, le client est le propriétaire de l'objet physique qu'est le photocopieur mais une valeur supplémentaire est apportée par des services ajoutés au produit. On se trouve alors dans la catégorie "Services orientés produit".

Tournons nous maintenant vers un système dans lequel le client paie pour l'utilisation du photocopieur. Il paie pour un nombre de photocopies donné. Le fournisseur, qui est alors le propriétaire des équipements, doit lui garantir un bon fonctionnement durant l'utilisation de la photocopie. On a donc des services techniques relatifs à la maintenance qui sont mis en jeu afin de garantir la fonctionnalité au client. Ces services sont intégrés au système et le client ne voit pas le fonctionnement "interne" entre les produits et les services mais seulement le bon fonctionnement de l'équipement qu'il utilise. Cet exemple se trouve dans la catégorie "services orientés usage". Enfin, la dernière catégorie "services orientés résultat" peut être illustrée par l'exemple d'un centre de photocopie. Dans ce cas, le client apporte directement le document à copier et le magasin lui fournit alors le résultat requis, à savoir

un certain nombre de copies du document.

Cette typologie de systèmes produits-services montre la complexité qui réside dans la valeur fournie par ces systèmes. En effet, suivant le type de système proposé au client, la valeur peut être basée sur le produit ou sur le service.

2.1.4.3 Vente de fonctionnalité

Dans la continuité du paradigme de vente de fonctionnalité, Alonso-Rasgado *et al.* (2004) traitent des produits fonctionnels (ou encore des *Total Care Products*) vu comme des produits combinant des équipements techniques avec un système support au service (voir figure 2.7). Dans ce cadre, le client n'achète plus un produit mais la fonction réalisée par cet ensemble.

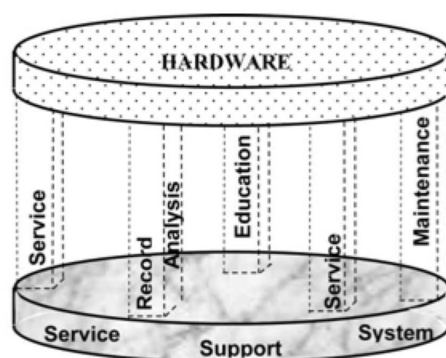


FIG. 2.7 – Les produits fonctionnels

La vente de fonctionnalité telle qu'elle est illustrée par le cas Xerox dans la partie 2.1.3, a fait apparaître la nécessité de mettre en place des stratégies spécifiques pour la récupération et la remise en état. C'est ce que l'on appelle le remanufacturing. Lopez-Ontiveros (2004) définit le remanufacturing comme un processus de restauration de produits usagés vers un état nouveau, grâce à la remise en état ou la reconstruction partielle pour :

- réduire les impacts : consommation d'énergie, consommation de matières, rejets (eau, air, sol) ;
- prolonger le cycle de vie des produits ;
- récupérer la valeur ajoutée du produit acquise durant la conception et la fabrication.

Les travaux de Jacobsson (2000) mettent en avant la relation entre le

remanufacturing et la vente de service (voir figure 2.8). Mais, le remanufacturing n'est pas la panacée pour tous les produits. Comme le dit Sundin *et al.* (2000), le remanufacturing peut ne pas être environnementalement bénéfique pour les produits qui ne sont pas matures et/ou qui ont un taux de développement de technologie "high-tech" important. Sundin *et al.* (2005) fait la différence entre la location "classique" et la vente de fonctionnalité (functional sale). La location s'apparente à louer un produit spécifique à un client qui en fait la demande. La vente de fonctionnalité quant à elle, est le fait de satisfaire les besoins des clients sans se focaliser spécifiquement sur un produit. Les offres produits-services intégrés donnent de bonnes opportunités de remanufacturing pour les fournisseurs de service (Sundin *et al.*, 2008).

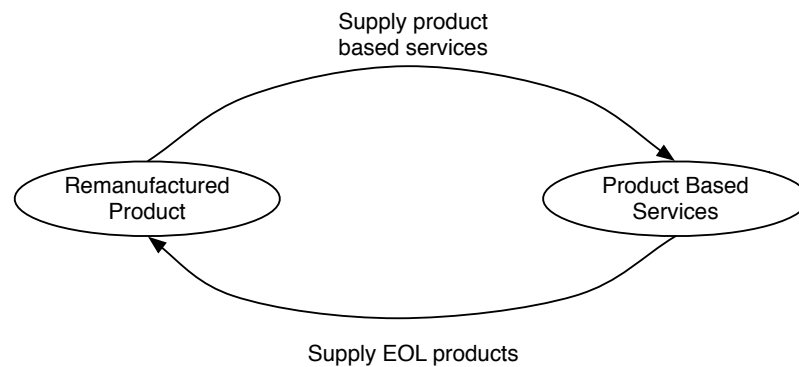


FIG. 2.8 – Complémentarité entre vente de services et remanufacturing

2.1.5 Les systèmes produits-services industriels

Dans le cadre du développement de la vente de services dans le secteur de la production et en particulier des machines spéciales, le projet TR29 traitant des systèmes produits-services industriels (Industrial Product-Service Systems, *IPS*²) a été mis en place⁵. Les systèmes produits-services industriels sont définis comme des offres intégrées de produits et de services délivrant de la valeur aux clients dans le cadre d'applications industrielles. Plusieurs thématiques sont regroupées dans ce projet, comme :

- la création d'un processus de développement générique pour les solutions produits-services ;
- la mise en place de la supply-chain en fonction de la demande du client ;

⁵Plus d'informations sur www.tr29.de

- la planification des ressources dans le cadre de la vente de service ;
- le traitement et la gestion de l'information de l'utilisation des IPS2 ;
- etc.

Aurich *et al.* (2006) traitent des SPS techniques dont l'objectif est d'augmenter les performances des produits physiques en répondant au plus près des demandes et exigences du client. Les systèmes produits-services industriels sont définis comme :

In the investment goods industry, such solutions consist of a physical core product (e.g. a construction machine) enhanced and individualized by a mainly non-physical technical service shell (e.g. maintenance or contracting service) (Aurich et al., 2006, p. 1481).

On retrouve dans cette définition, des similarités avec le concept de produits étendus puisque "l'offre produit" est élargi par des services techniques particuliers selon les demandes spécifiques des clients. Ces systèmes sont composés de composants physiques et non-physiques et mis en place dans des relations entreprises-entreprises (voir figure 2.9).

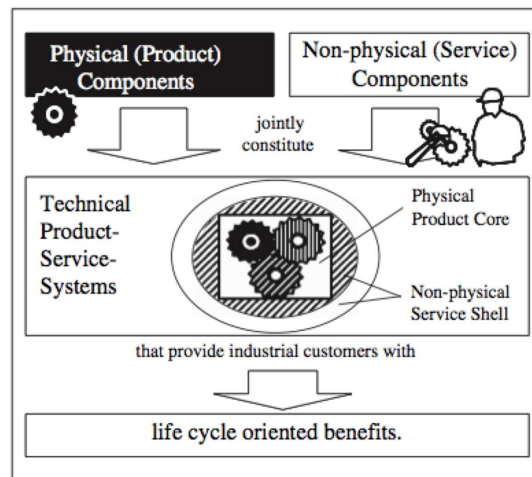


FIG. 2.9 – Structure d'un système produits-services technique

Les services techniques ajoutés aux produits ont principalement 3 fonctions :

1. Le support technique : il a pour principale fonction d'assurer la fiabilité du produit.

2. La satisfaction des besoins clients : assurer des offres complémentaires comme la formation, la personnalisation des offres selon les besoins du client.
3. La capitalisation des informations : le retour d'informations pour le fournisseur dans le but d'améliorer les produits inclus dans ces systèmes et également proposer des améliorations selon l'utilisation faite par le client.

Ces fonctions vont donc avoir une influence sur 3 objets durant le processus de conception :

1. La dimension produit : il faut que les produits soient adaptés aux services qui vont être ajoutés.
2. La dimension process : il est nécessaire de détailler les processus de service à mettre en place pour assurer le bon fonctionnement du produit par exemple.
3. La dimension information : que ce soit pour assurer la maintenance ou permettre d'améliorer le produit aux vues des utilisations qui en sont faites la prise d'information est nécessaire et doit être prise en compte durant le processus de conception de ces systèmes.

Ainsi, l'ensemble des relations entre ces fonctions et objets est illustré par la figure 2.10.

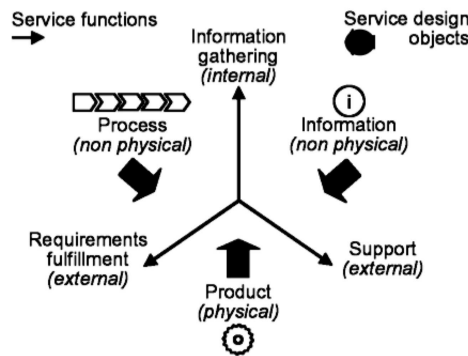


FIG. 2.10 – Cadre de développement des service techniques

2.1.6 Synthèse

Que ce soit le concept de produit étendu, de systèmes produits-services, d'ingénierie des services ou bien des SPS industriels, l'objectif reste le même

à savoir fournir plus de valeur aux clients. On distingue néanmoins 2 grandes familles :

1. les ensembles produits-services basés sur un produit déjà existant
2. les systèmes produits-services remettant en cause les entités tangibles et intangibles répondant aux besoins spécifiques du client

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous mettons en avant la nécessité de repenser totalement le système si l'on veut atteindre un découplage entre les impacts sur l'environnement et la manière dont est délivré le service. Il est alors important de se focaliser sur les besoins du client dans son ensemble, détailler les fonctionnalités et attentes particulières qu'il peut avoir sans se focaliser sur tel ou tel type de solution. En ce sens, il est donc nécessaire du point de vue du concepteur de regarder les méthodes existantes pour concevoir les produits physiques, les services et les systèmes produits-services. Quels sont les manques dans ces différentes méthodologies ? Comment concevoir de manière intégrée les entités physiques et les services intangibles dans leur globalité ?

La partie suivante se focalisera sur les différentes méthodes pouvant être utilisées pour concevoir ces nouveaux systèmes. Nous étudierons dans un premier temps les méthodologies focalisées sur le produit afin d'en déterminer les limites dans le cadre d'une conception de SPS. Nous voyons ensuite les méthodologies ayant pour but de concevoir des services, avant de passer sur les méthodes de développement des systèmes produits-services existantes.

2.2 Les méthodologies pouvant être utilisées pour concevoir les SPS

2.2.1 Les méthodologies orientées produit

2.2.1.1 Les méthodologies de conception systématique

La conception de produits a été largement étudiée afin de créer des méthodologies qui soient suffisamment génériques pour développer de nouveaux produits. La méthodologie systématique développée par Pahl et Beitz (1999) structure le processus de développement des produits suivant 4 étapes (voir figure 2.11) :

1. Planning and clarification
 - clarification de la tâche ;
 - élaboration des spécifications.

2. Conceptual design
 - identification des problèmes essentiels ;
 - établissement de la structure fonctionnelle ;
 - recherche de principes de solution ;
 - combinaison et confirmation des variantes ;
 - évaluation des critères techniques et économiques.
3. Embodiment design
 - développement préliminaire de la structure et des formes de conception ;
 - sélection de la meilleure structure ;
 - affinement et évaluation des critères économiques et techniques ;
 - optimisation et amélioration des formes ;
 - vérification d'erreurs et la faisabilité économique ;
 - préparation d'une liste préliminaire de pièces et de documents de production.
4. Detail design
 - finalisation des détails ;
 - enrichissement des dessins et des documents de production.

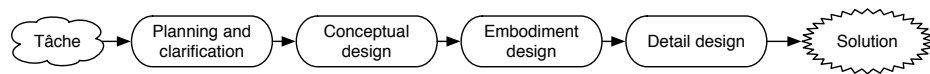


FIG. 2.11 – Conception systématique des produits

Cette démarche orientée produit définit le processus de conception comme un enchaînement de différentes phases. Le passage de la tâche à la solution se fait par une succession de différentes étapes.

Le processus de développement vu par Ulrich et Eppinger (1999) propose une décomposition similaire à celle de Pahl et Beitz (1999), mais une étape supplémentaire est d'inclure les premiers éléments lié à la production du produit : c'est ce qui est défini dans la phase de "production and ramp-up". Il s'agit d'une co-construction produit-process. Les différentes étapes de cette démarche sont les suivantes :

1. Planning
 - Définition des objectifs du projet ;
 - Identification des marchés visés ;
 - Définition des volumes de vente ;
 - Identification des contraintes principales.
2. Concept development
 - Identification des besoins des clients cibles ;

- Génération de concepts concurrents ;
 - Sélection d'un ou plusieurs concepts.
3. System level design
 - Définition de la structure du produit ;
 - Décomposition en sous-systèmes et composants ;
 - Premiers éléments de la supply chain.
 4. Detail design
 - Spécifications matériaux, géométrie et tolérances ;
 - Définition des pièces standard et de leurs fournisseurs ;
 - Définition des process de fabrication.
 5. Testing and refinement
 - Prototype et pré-production de masse ;
 - Validation des performances produit et production.
 6. Production and ramp-up
 - Formation des opérateurs ;
 - Optimisation des paramètres de production.



FIG. 2.12 – Le processus de conception de produits par Ulrich et Eppinger

Les approches de Pahl et Beitz et Ulrich et Eppinger peuvent être regroupées avec la méthode VDI. La conception de produits par la méthode VDI est également découpée en différentes phases allant de la clarification des tâches jusqu'à la production du produit (voir figure 2.13). Chacune de ces phases permet de détailler un résultat. Ainsi les spécifications du problème de conception sont déterminées lors de la clarification et définition du problème. Ces spécifications sont ensuite utilisées lors des différentes étapes du processus de développement. Viennent ensuite la définition de la structure des fonctions, des principes de solution, du modèle structurel, des plans techniques puis des documents de production.

Dans ces différentes approches, le focus est fait sur le produit à développer. Des éléments relatifs à la production du produit sont également donnés. Comme le développement est fait sur le produit, l'ajout de services techniques entraînera par conséquent des modifications a posteriori. Il est donc nécessaire d'avoir une conception intégrée des produits et des services qui composent le système.

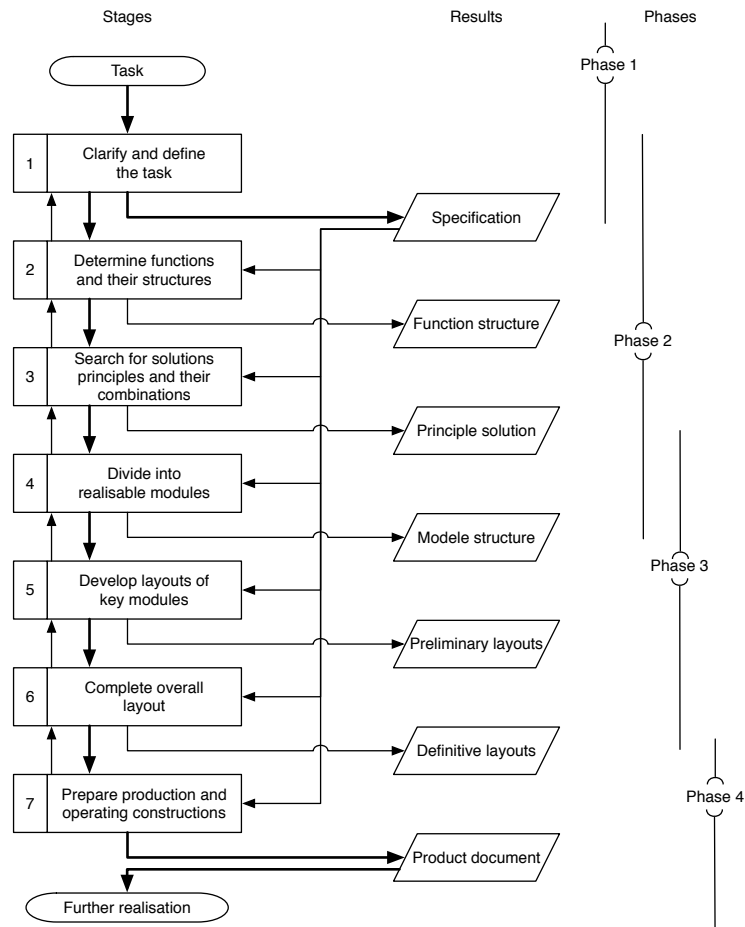


FIG. 2.13 – Approche générale pour la conception des systèmes et produits techniques

2.2.1.2 Conception intégrée du produit

Dans les méthodologies produit vues précédemment, des éléments relatifs à la production du produit étaient inclus dans la démarche de développement. Andreasen et Hein (2000) traitent du développement intégré du produit. Cette démarche de conception met en relation 3 objets de conception (voir figure 2.14) :

1. Le développement du business associé au produit
2. Le développement du produit
3. Le développement du process de fabrication

Un des aspects supplémentaires non rencontrés jusque-là concerne le développement du business associé au produit. Que ce soit dans les démarches de Pahl et Beitz (1999); Ulrich et Eppinger (1999); VDI (1987), le business du produit n'était pas traité comme un objet lors de la conception du produit. Cela concerne ici l'analyse du marché et l'identification des clients potentiels. L'objectif de cette démarche est d'intégrer au plus tôt le développement du produit au regard des marchés disponibles. Dans ce processus de développement c'est bien le triplet marché-produit-process de fabrication qui est étudié et développé. La stratégie pour vendre le produit est aussi détaillée. Ainsi, les concepteurs, les personnes du marketing ainsi que les gens de la production sont intégrés durant le processus de conception.

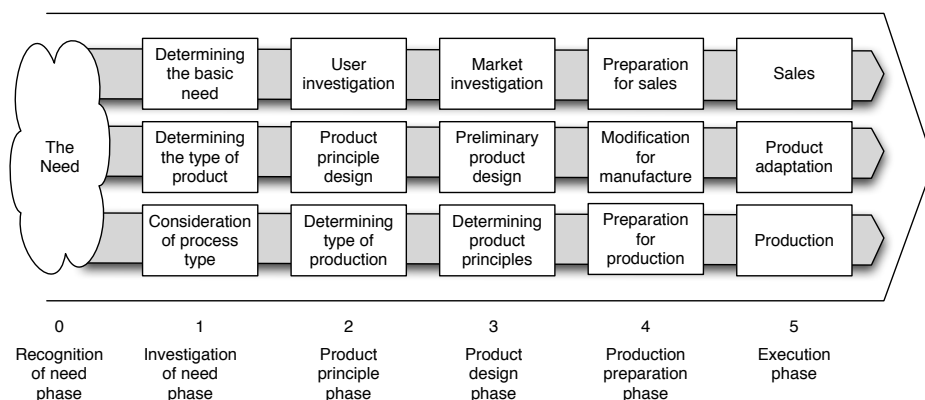


FIG. 2.14 – Développement intégré du produit

2.2.1.3 Conception des services orientés produit

La notion de service a été largement négligée par les concepteurs de produits car les services sont considérés comme immatériels et non relatifs à des besoins techniques, malgré la corrélation qui existe entre les produits et les services techniques en particulier. Une première approche pour les concepteurs a été de considérer l'ensemble du cycle de vie du produit dans le but d'ajouter de la valeur dans les différentes phases de ce cycle de vie (Westkamper *et al.*, 2000). Dans cette approche, les phases telles que la maintenance ou la fin de vie du produit sont particulièrement étudiées car ce sont celles qui nécessitent le plus souvent la mise en place de services. Une des solutions envisagées pour ajouter de la valeur au produit et s'assurer de son bon fonctionnement est le téléservice (voir par exemple (Lee, 1998)). Dans cette approche, l'objectif est de capitaliser les informations du produit afin

d'optimiser sa durée de vie et rendre un service plus performant au client. C'est une approche que l'on retrouve aussi dans la maintenance fonctionnelle (Umeda *et al.*, 1994). Dans la mise en place de la maintenance fonctionnelle, la machine est conçue pour être auto-entendue dans le but d'assurer au minimum la fonction principale requise par le client, même en cas de dégradation d'autres fonctions.

Dans ce focus produit, ce sont donc principalement des approches de type maintenance qui sont faites pour concevoir les produits. Takata *et al.* (2004) discutent de la maintenance pour repenser le management du cycle de vie des produits. L'image négative de la maintenance doit être changée car cela permet d'améliorer la durée de vie des produits et par conséquent de diminuer les impacts environnementaux. Entre les phases d'opération sur les produits, l'établissement de stratégies de maintenance et le développement des produits, 3 boucles de retour sont identifiées pour améliorer la maintenance (voir figure 2.15) :

1. Retour au sein de la tâche "maintenance" sur le terrain.
2. Retour et amélioration des stratégies de maintenance mises en place.
3. Retour sur la conception du produit dans le but d'optimiser sa durée de vie.

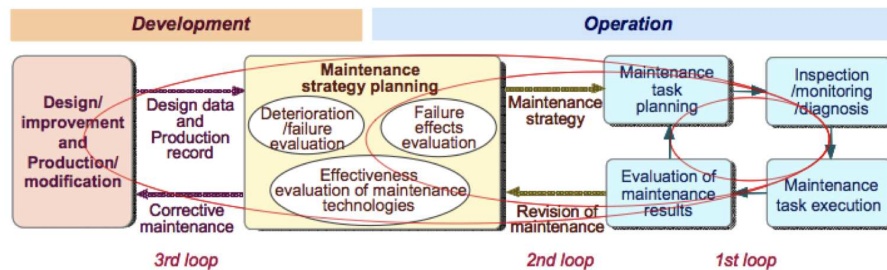


FIG. 2.15 – La maintenance sur l'ensemble du cycle de vie du produit

Mais dans cette optique, les concepteurs se focalisent sur le produit et les ajouts nécessaires pour améliorer ses performances. De plus, pour pouvoir détailler des stratégies de maintenance, il est nécessaire de connaître l'ensemble des composants ainsi que leurs risques de défaillance. Cette analyse de défaillance conduit ensuite à s'interroger sur les moyens préventifs à mettre en place pour y palier. Mais dans ces différentes approches, le focus fait sur le produit ne permet pas de donner une vision globale du système. En effet, le produit rend certaines fonctions au client et les services techniques de type

maintenance permettent de garantir au maximum ces fonctions au client. Si l'on veut concevoir des systèmes produits-services dans leurs globalités, répondant au mieux aux besoins du client, il est alors nécessaire de prendre en considération l'ensemble des relations qui existent entre les entités physiques et les services au plus tôt durant le processus de conception.

2.2.1.4 Conception modulaire des SPS techniques

La réalisation des systèmes produits-services techniques doit être faite de manière à intégrer à la fois les produits et les services dans l'offre faite au client. Dans la plupart des cas, la conception des produits est faite par des concepteurs et de manière structurée. La conception des services est réalisée a posteriori du développement du produit par des gens du marketing ou de la distribution, et de manière plus ou moins intuitive. Dans le but de prendre en compte les interactions qui existent entre les produits et les services dans le cas de la vente de services, une méthode de conception modulaire des SPS a été développée. Aurich *et al.* (2007) identifient 3 champs d'actions pour la conception des SPS techniques :

- un processus de conception systématique et non plus intuitif ;
- la nécessité de lier les processus de conception des produits et des services ;
- l'allocation de tâches "service" avec les partenaires locaux et régionaux.

Ce dernier point met en avant la nécessité de prendre en compte l'ensemble des acteurs/sous-traitants/partenaires lors de l'implémentation des SPS dans l'industrie (Williams, 2006). L'objectif de cette démarche est de décomposer le process jusqu'à un niveau d'activités réalisées par un produit ou un service technique (voir figure 2.16).

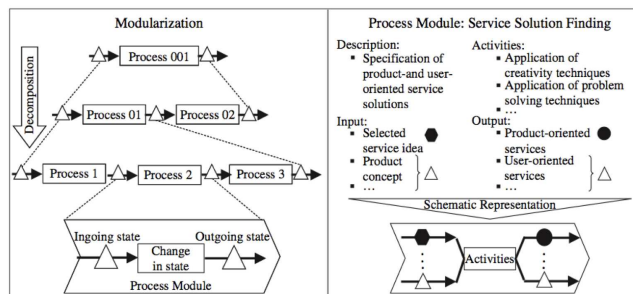


FIG. 2.16 – Processus de modularisation des SPS

La modularisation du SPS est réalisée en décrivant les différentes activités qui sont réalisées par un produit ou un service. Chaque activité permet de

passer d'un état entrant vers un état sortant et peut être réalisée par un produit physique ou un service technique. L'objectif de cette modularisation est de coupler les activités produit avec les activités service. Néanmoins, cette démarche se base sur des produits et services déjà existants. Même si Aurich traite de la conception intégrée des systèmes produits-services, la part d'innovation sur les produits et/ou services n'est pas si évidente que ça. D'un autre côté, la modularité permet plus de flexibilité pour reconfigurer le SPS pour chaque client.

2.2.1.5 Conception des produits fonctionnels

Le développement des produits fonctionnels se focalise principalement sur le système support au service et donne quelques aspects sur la conception des hardwares. Le remanufacturing et la fiabilité sont des éléments clés de la conception des matériels dans le cadre des produits fonctionnels (Alonso-Rasgado *et al.*, 2004). Le processus de développement des produits fonctionnels est décomposé selon les phases suivantes :

1. Création de concept :
 - (a) génération de solutions potentielles ;
 - (b) évaluation des idées et concepts ;
 - (c) vérification de la faisabilité technique ;
 - (d) analyse du business case.
2. Identification des sous-systèmes requis.
3. Modélisation du système support au service and simulation du service.
4. Test et implémentation.

Les objets physiques impliqués sont existants et peu modifiés dans cette approche. Une justification faite pour ne pas développer de nouveaux produits est que le développement simultané de nouveaux produits et de nouveaux services est très risqué (Alonso-Rasgado *et al.*, 2004, p. 536). Dans ce processus, les relations entre le client et le fournisseur durant le processus de conception sont vitales.

Pour aller plus loin dans cette démarche de développement des produits fonctionnels, Alonso-Rasgado et Thompson (2006) mettent en avant un processus de conception accéléré (fast-track design process). Le processus de développement est basé sur une interaction permanente entre le fournisseur et le client. Ce processus est ainsi séparé en 5 grandes étapes :

1. Définition des exigences du client.

2. Détail de solutions potentielles.
3. Définition du cœur du produit fonctionnel et étude des options possibles.
4. Définition détaillée.
5. (a) Analyse du risque du cas d'affaires (business case) ;
 (b) Validation du cas d'affaires et évaluation d'alternatives.

L'objectif de cette démarche est de déboucher sur les paramètres importants des équipements et du système support au service, mais également de détailler le contrat qui sera mis en place entre le fournisseur et le client. Comme les produits fonctionnels sont des relations à long terme entre le client et le fournisseur, il est nécessaire que les engagements respectifs du client et du fournisseur soient détaillés. Les caractéristiques d'un contrat des produits fonctionnels sont :

- l'objectif du contrat en termes de performance, maintenance, etc. ;
- les obligations des 2 parties : le fournisseur doit effectuer certaines tâches, mais le client doit aussi tout mettre en œuvre pour permettre ces tâches (e.g. arrêt programmé de la production) ;
- les frais annexes pour effectuer des tâches spécifiques "non prévues" ;
- les bénéfices pour le client ;
- les conditions de vente ;
- l'engagement contractuel ;
- la surveillance de la performance : dans ce cas, deux types de paramètres sont à identifier :
 - les paramètres relatifs à la disponibilité : par exemple le nombre de pannes, le temps moyen entre pannes. Ces paramètres sont spécifiques pour chaque usine ;
 - la performance : des paramètres tels que la qualité des produits, l'énergie consommée, etc. doivent aussi être spécifiques à chaque cas.
- les équipements et services exclus du contrat.

On peut noter que dans cette démarche, ce sont principalement les termes du contrat entre le client et le fournisseur qui sont détaillés. La mise en place du cas d'affaires (business case) est principalement orientée contrat. A la fin de cette démarche, nous pensons que c'est principalement le cahier des charges qui est défini. Reste plus qu'à concevoir les différents éléments inclus dans les produits fonctionnels. Ceci ne donne pas de spécifications techniques sur les produits et systèmes au service.

2.2.1.6 L'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une partie à part entière de la démarche d'analyse de la valeur proposée par Miles (1971). L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions (AFNOR, 1996). Ainsi, cette démarche permet de décrire les besoins des clients (et des acteurs impliqués dans la conception) en fonctions de service, fonctions techniques et solutions.

Nature des fonctions : L'analyse fonctionnelle s'intéresse aux fonctions⁶ à fournir au client ainsi qu'aux fonctions techniques les réalisant. Dans cette analyse, il existe différents types de fonctions. On trouve par exemple, les fonctions d'usage, les fonction d'estime, les fonctions principales, les fonctions contraintes, les fonctions techniques... Ces différentes fonctions traduisent un but à atteindre. Une fonction de service est une fonction attendue d'un produit (ou réalisé par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné (Delafollie, 1991). Parmi ces fonctions de service, on trouve les fonctions d'usage et les fonctions d'estimes :

- Les fonctions d'usage expriment la partie rationnelle du besoin
- Les fonctions d'estime expriment la partie subjective du besoin.

Lors de la représentation externe, faite à travers le graphe des interacteurs, d'autres types de fonction vont être mis en avant. Le concepteur traite avec les fonctions d'interactions et les fonctions d'adaptation. Une définition de ces fonctions peut être donnée comme :

- Les fonctions d'interactions correspondent au service rendu par le produit pour répondre aux besoins du client,
- Les fonctions d'adaptation traduisent des réactions, résistances dues à des éléments du milieu extérieur.

Ces différentes fonctions mettent en avant les fonctions attendues du produit par le client. Mais ces fonctions de services (telles que laver du linge sale, se déplacer, être agréable à l'oeil, etc.) doivent maintenant être "traduites" en fonctions techniques qui vont les réaliser. Par exemple, pour laver du linge, il faut mettre de l'eau, ajouter de la lessive, vidanger, rincer, vidanger, etc. L'analyse fonctionnelle permet de réaliser ce couplage entre ces différentes fonctions. Nous voyons dans la suite les représentations des analyses externe et interne permettant de définir l'ensemble de ces fonctions et leurs caractérisations.

⁶Fonction : Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité (AFNOR, 1991)

Le graphe des interacteurs : Tout élément conçu, que ce soit un produit, un service, une organisation, va être utilisé dans un milieu particulier. Dans ce milieu, l'utilisateur sera impliqué ainsi que des milieux extérieurs (ou interacteurs). Un milieu extérieur est un élément (personne, équipement, matières) qui constitue l'environnement du produit au cours de son utilisation et qui se trouve en situation d'interagir avec lui (AFNOR, 1996). On retrouve principalement 5 catégories de milieux extérieurs constitués par :

- des personnes ;
- des objets, matériels ;
- des énergies ;
- l'ambiance ;
- les normes en vigueur.

Le graphe des interacteurs⁷ est l'outil de l'analyse fonctionnelle utilisé pour réaliser l'analyse externe d'un produit, d'un service. Lors de cette identification, le système conçu est vu comme une boîte noire entouré par différents milieux extérieurs (voir figure 2.17). Ce graphe des interacteurs permet ensuite d'identifier les différentes fonctions attendues par le client. D'un point de vue externe, le concepteur doit se demander les fonctions qui sont attendues par le client de ce système.

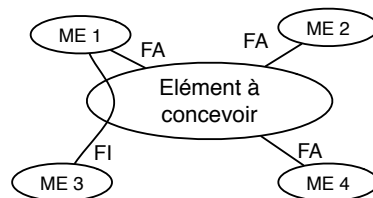


FIG. 2.17 – Le graphe des interacteurs de l'Analyse Fonctionnelle

Caractérisation des fonctions : Par la suite, il est nécessaire de caractériser les fonctions, ainsi que les interacteurs (ou milieux extérieurs). Cette caractérisation passe par le détail de critères, niveaux et flexibilité. Ces critères peuvent être quantifiables (e.g. nombre de cycles d'ouverture), ou bien qualifiables (e.g. aspect extérieur mat, brillant). Chacun de ces critères est ensuite défini par un niveau et une flexibilité. La flexibilité traduit le fait qu'on laisse dans le cahier des charges un certain intervalle de tolérance.

⁷Egalement appelé "diagramme pieuvre" dans la méthode APTE

Des fonctions de service aux fonctions techniques : Le diagramme FAST (acronyme pour Function Analysis System Technique) fait le lien entre l'analyse externe et l'analyse interne. L'objectif de cette arborescence est de faire apparaître les premiers éléments de la solution (voir figure 2.18). Ce sont à la fois les fonctions techniques et les solutions envisagées pour y répondre qui doivent apparaître sur ce diagramme. L'arborescence part des fonctions externes (les fonctions d'interaction ou les fonctions d'adaptation) pour aller aux solutions techniques proposées en passant par les fonctions techniques. Pour aller des fonctions de service aux solutions, la question à se poser est comment réaliser cette fonction. Si on fait une analyse remontante dans le cas d'une re-conception, alors en partant des solutions techniques employées, le concepteur se pose la question pourquoi a-t-on utilisé ces solutions/fonctions techniques.

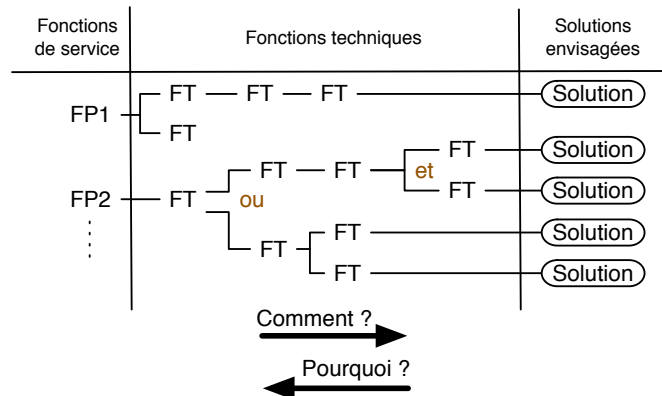


FIG. 2.18 – Le diagramme FAST

La représentation interne : Le bloc diagramme fonctionnel (BDF) est l'outil de représentation "interne" permettant de lier les principes de solutions qui ont émergés au cours du FAST (voir figure 2.19). Le FAST permet de faire le lien entre fonctions et solutions, mais il est nécessaire pour le concepteur de voir les contacts qui existent entre les solutions. En effet, les interactions qui subsistent entre les différentes solutions ne sont pas détaillées dans le FAST. Le BDF permet de faire la description de l'objet qui est conçu. Les composants mis en jeu dans le système ont également des contacts entre eux. Les choix de conception peuvent être modélisés par l'intermédiaire de boucles de conception. Pour établir un détail des solutions, il est nécessaire de :

- lister les composants du système ;
- identifier les contacts existants entre les composants ;
- tracer les flux des fonctions (principales) ;
- tracer les flux bouclés.

Evidemment, l'ensemble de ces étapes doit déboucher sur une caractérisation des flux et des contacts.

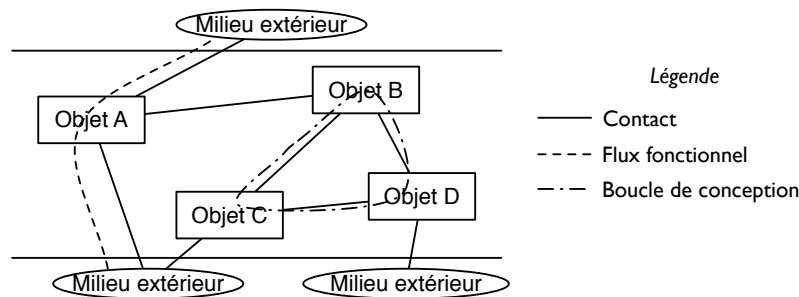


FIG. 2.19 – Le bloc diagramme fonctionnel (BDF)

2.2.1.7 Synthèse

Les méthodologies orientées produit ne donnent pas assez d'éléments sur les interactions qui existent entre les produits conçus et les éléments extérieurs qui peuvent agir sur eux. Pour développer des SPS, il est donc nécessaire d'avoir une vue système plutôt qu'une vue focalisée sur le produit. De plus, les concepteurs doivent faire plus attention aux problèmes liés aux multiples phases du cycle de vie de ces systèmes (McAloone et Andreasen, 2002).

2.2.2 Les méthodologies orientées service

2.2.2.1 La représentation "blueprint"

Le blueprint est une représentation de service inventée par Shostack (1982). Ce mode de représentation des activités de service est principalement utilisé par les gens du marketing. Un des potentiels de cette représentation est d'augmenter l'efficacité du processus de livraison du service car elle permet de voir l'ensemble des éléments participant à la livraison (Fliess et Kleinaltenkamp, 2004). Le blueprint est défini comme :

A picture or map that accurately portrays the service system so that different people involved in its development can understand and deal with it objectively regardless of their roles or thier individual point of view (Zeithaml et Bitner, 1986).

Cette représentation décrit le processus de livraison du service, le rôle des clients, le rôle des employés fournissant le service ainsi que les composants visibles. Plusieurs "frontières" entre la livraison du service au client et l'organisation interne du service sont détaillées dans cette représentation (voir figure 2.20) :

La ligne d'interaction : elle délimite la frontière entre le client et le "front office". Dans le cadre d'un service de restauration, cette limite est entre le client et le serveur.

La ligne de visibilité : cette frontière est entre le "front office" et le "back office". Dans un restaurant, cette limite est fixée entre les serveurs et les cuisiniers.

La ligne d'interaction interne : cette frontière est une frontière "interne" au service. Par exemple, le chef du restaurant fait appel à des producteurs lui livrant des produits marquant ainsi une frontière interne au système que le client ne voit pas.

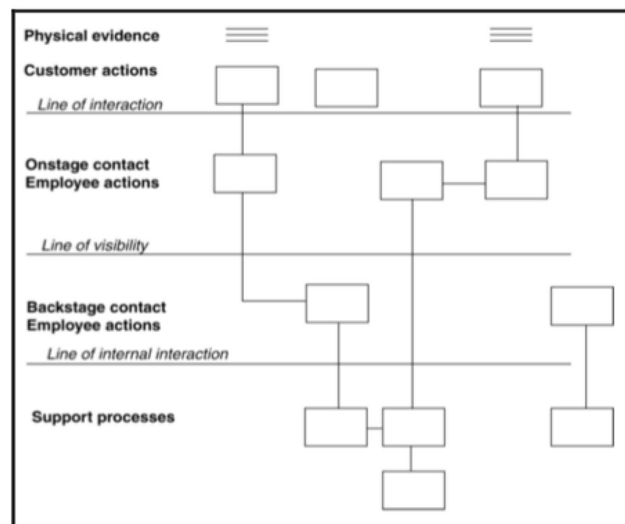


FIG. 2.20 – Principe de la représentation blueprint

Le principe de représentation blueprint a été utilisé pour modéliser les systèmes produits-services mais était pratiqué en faisant l'hypothèse que le

produit inclu dans le PSS n'était pas modifié (Boughnim et Yannou, 2005, p. 9). Or il nous semble que les produits industriels inclus dans les systèmes produits-services doivent être modifiés du fait des interactions qui existent avec les services du système.

Morelli (2003) utilise également cette représentation pour schématiser les cas d'utilisation des systèmes produits-services. L'avantage de cette représentation est qu'elle permet de mettre en avant les agents et objets utilisés pour réaliser les opérations avec le client, mais également pour réaliser les opérations en "interne" du système. Nous pensons effectivement que pour développer des SPS il est nécessaire d'avoir ces aspects de fonctionnement interne mais également d'utilisation du système par le client (voir partie 3.3).

2.2.2.2 Le modèle SADT

La modélisation SADT est orientée process et décrit les activités. Chaque action symbolisée par une boîte, est décrite à un niveau particulier avec des entrées (par la gauche), des sorties (par la droite), des paramètres de contrôles (par le haut) et les supports à l'activité (par le bas) comme illustré par la figure 2.21. Dans le cadre de la conception de services, cette modélisation peut donc être utilisée pour représenter de façon simple l'ensemble des activités faites pour délivrer le service.

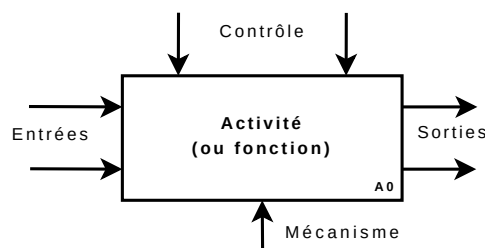


FIG. 2.21 – Modélisation SADT

Gummesson (1993) identifient 4 points essentiels dans la description d'un service :

- la représentation du modèle doit être compréhensible par les employés ;
- la méthodologie doit avoir un langage clair et cohérent ;
- le modèle doit être basé sur les activités et orienté sur les actions ;
- le management doit aider l'utilisation de la méthodologie.

Lors de la représentation de services, Congram et Epelman (1995) identifient 4 autres éléments cruciaux pour décrire un service :

- les employés doivent participer au processus de développement du mo-

dèle ;

- le modèle doit aider les employés du service à être plus efficaces ;
- la méthodologie de modélisation doit aider le contrôle du process ;
- la méthodologie de modélisation doit encourager les collaborations entre la partie "opérationnelle" du service, le marketing et les ressources humaines.

Même si Morelli (2006) pointe les limites de cette modélisation qui devient trop complexe pour gérer l'ensemble des choix utilisateurs impliquant différents types de scénarios, ce type de description peut permettre aux concepteurs de décrire l'ensemble des activités du système afin de délivrer le service au client. Il faut que cette représentation soit utilisée en complément de techniques de description de scénarii et de cas d'utilisation. Nous parlons plus spécifiquement de l'apport des scénarios dans le cadre de la conception des systèmes produits-services dans la partie 3.3 page 86.

2.2.2.3 L'ingénierie des services

Le concept d'ingénierie des services développé par Tomiyama (2001) a conduit à la réalisation d'une méthodologie de conception orientée acteurs (ou agents). Entre une conception de produits et une conception de services, Sakao *et al.* (2006b) soulignent le fait qu'il existe un écart entre ces 2 conceptions (voir figure 2.22). L'objectif de l'ingénierie des services est de combler ce vide méthodologique en détaillant les valeurs apportées par le service tout en décrivant les différents éléments y répondant.

Dans cette méthodologie, les outils qui sont utilisés sont principalement focalisés sur les agents impliqués dans le système. Plusieurs modèles sont utilisés depuis la description du système jusqu'au détail des solutions techniques envisagées. Parmi ces modèles, on retrouve :

- le flow model : dans ce modèle sont décrits l'ensemble des agents impliqués dans le système ainsi que les relations existant entre ces agents ;
- le scope model : chacune des relations entre agents est détaillée afin de déterminer les valeurs et coûts mis en jeu dans ces relations. L'ensemble de ces valeurs et coûts sont appelés RSP (Receiver State Parameter) ;
- le scenario model : ce model permet de décrire un client cible (un persona) à l'aide de données démographiques (âge, genre, etc.) et de données psychologiques (style de vie, personnalité, etc.) ;
- le view model : l'ensemble des RSP identifiés dans le scope model sont décrits à l'aide de paramètres sur les contenus et les moyens (cf partie 2.1.2).

L'enchaînement de ces différents modèles est illustré dans la figure 2.23

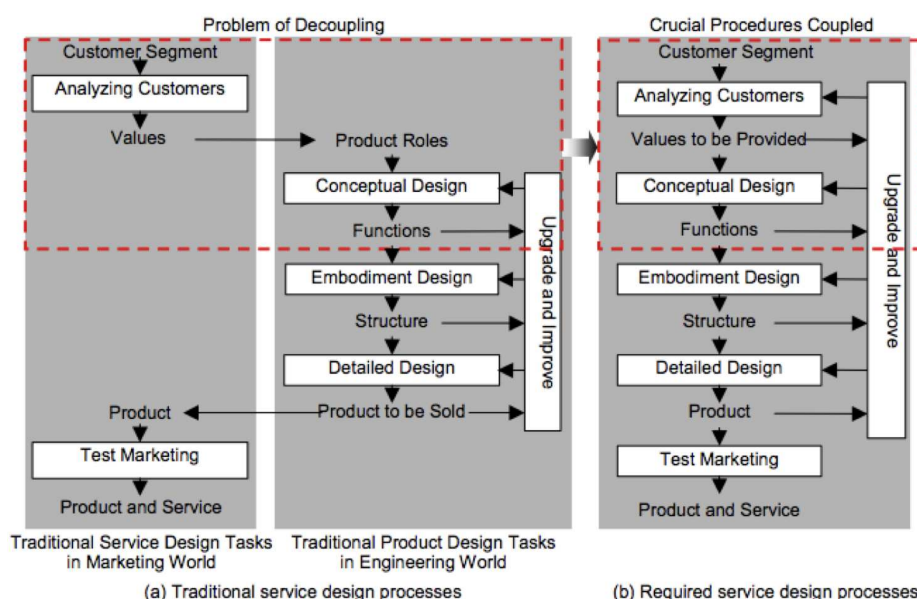


FIG. 2.22 – Découplage entre la conception de produits et celle de services (Sakao *et al.*, 2006b)

dans laquelle l'exemple d'une chambre d'hôtel est développé. Dans ce service, différents agents sont impliqués et participent directement ou indirectement à la satisfaction du client final (c'est le cas par exemple pour le fournisseur de linge propre). Chacune de ces relations est ensuite détaillée dans le scope model afin d'identifier les valeurs et les coûts. Enfin, le view model permet de détailler les RSP en paramètres de solutions. Ces paramètres de solutions peuvent être des paramètres du contenu (par exemple la fraîcheur du linge de toilette) ou des moyens (par exemple la disponibilité du linge de toilette).

Différentes relations entre les agents existent dans cet exemple. Dans chacune de ces relations, des valeurs et coûts peuvent être identifiés. L'objectif est d'augmenter les valeurs tout en diminuant (voire éliminant) les coûts. Ils sont identifiés comme des paramètres d'état du receveur. Chaque paramètre est ensuite étudié dans le view model.

L'ingénierie des services propose une méthodologie de conception des services intéressante car elle part des valeurs et coûts attendus dans les relations entre les agents. Des travaux communs ont été réalisés pour coupler cette approche avec l'analyse fonctionnelle (voir par exemple (Maussang *et al.*, 2007b; Sakao *et al.*, 2006a)). Un des manques identifiés dans cette méthodologie concerne le lien entre les fonctions et les RSP identifiés. L'analyse

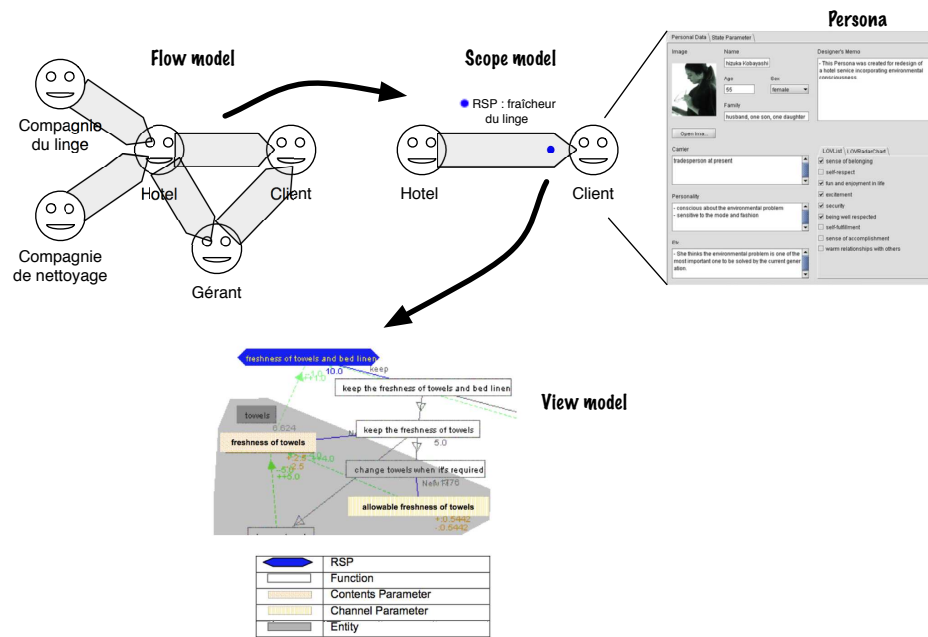


FIG. 2.23 – De la description des agents au détail des paramètres de solutions

fonctionnelle décrit de manière très précise les liens qui existent entre les fonctions de service, les fonctions techniques et les solutions envisagées. De plus, les liens entre les différents RSP et les interdépendances entre les paramètres d'une même solution ne sont pas faits. D'un autre côté, l'un des points forts de l'ingénierie des services est de mapper l'ensemble des acteurs mis en jeu dans le cadre de la fourniture d'un service, chose qui n'est pas forcément réalisée dans le cadre de l'analyse fonctionnelle. Enfin, le point essentiel qui se dessine également à travers ces travaux est que la description des activités dans le cadre de la conception de service est incontournable durant le processus de développement. En ce sens, Hara *et al.* (2008) intègrent ce lien entre l'aspect fonctionnel et les activités dans le cadre de l'ingénierie des services.

2.2.3 L'ingénierie système

2.2.3.1 Définition

Les produits qui sont actuellement conçus sont de plus en plus complexes. De nombreux métiers et compétences transverses sont impliqués dans les processus de développement. Le développement d'un avion ou d'une voiture par

exemple, fait intervenir des spécialistes de différents domaines : la conception mécanique, le dimensionnement, l'aérodynamique, l'électronique, etc. Ainsi, chacun de ces métiers à sa propre idée et solution technique optimale pour répondre à ses exigences. On parle alors de systèmes complexes.

Dans cette conception des systèmes complexes, des processus d'ingénierie pour assurer la décomposition du système en sous-système et d'intégration pour assurer la cohérence du système sont nécessaires (voir figure 2.24). Il est donc important d'intégrer l'ensemble des contraintes des différents métiers impliqués dans le cycle de vie du produit afin de trouver un compromis satisfaisant l'ensemble des experts. La définition d'une équipe réunissant les différentes disciplines du secteur d'application, des spécialités transverses et des métiers de l'entreprise est donc indispensable.

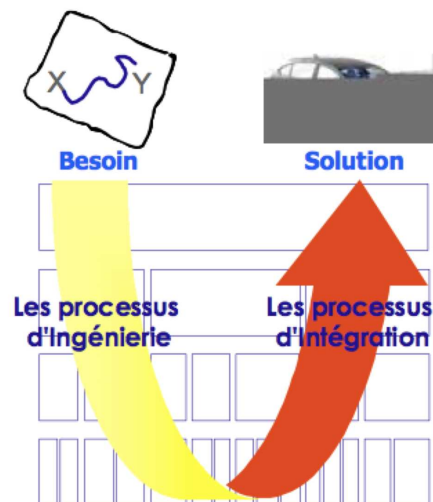


FIG. 2.24 – Processus d'ingénierie et d'intégration pour le développement des systèmes complexes

2.2.3.2 Développement de l'ingénierie système

Kossiakoff et Sweet (2002) traitent de l'ingénierie des systèmes dans le but de guider le développement des systèmes complexes. La complexité de ces systèmes est due à la diversité des éléments impliqués ainsi que de leurs relations. Ces systèmes sont étudiés dans leur ensemble avant d'être décomposés en sous-systèmes et composants. Chacun des éléments (système, sous-système, composants, sous-composants, pièces) est détaillé dans différentes

étapes du cycle de développement du système (voir figure 2.25). L'objectif final de cette approche est de décomposer au maximum les différents éléments du système puis de les intégrer ensemble dans le système. Ceci passe bien évidemment par un ensemble de tests et vérifications afin de contrôler la cohérence entre les éléments développés et leurs liens.

Phase Level	Needs analysis	Concept exploration	Concept definition	Advanced development	Engineering design	Integration & evaluation
System	Define operational objectives	Explore concept	Define selected concept	Validate concept		Test and evaluate
Sub-system	Visualize	Define functions	Define configuration	Validate selected sub-system		Integrate, test
Component		Visualize	Select, define functions	Validate, specify construction	Design, test	Integrate
Sub-component			Visualize	Define functions	Design	
Part				Visualize	Select or adapt	

FIG. 2.25 – Evolution de la décomposition du système selon les étapes du développement

Dans ce développement, le focus est principalement fait sur des composants physiques. Dans l'approche système de l'AFIS (Agence Française d'Ingénierie Système⁸), un système est formé d'éléments (matériels, logiciels, compétences humaines, processus) intégrés de telle sorte qu'ils fournissent, du fait de leurs interactions, les services correspondant à sa mission. La notion d'éléments, de compétences humaines, de processus et de liens rejoint les attentes des systèmes produits-services.

La mise en place de l'ingénierie système est réalisée par l'intermédiaire de différents processus (voir figure 2.26) :

- un processus technique participant à l'élaboration de solutions en fonction des besoins ;
- un processus de management gérant l'ensemble du projet ;
- un processus contractuel assurant les relations avec le client et les partenaires.

La mise en place de l'ingénierie système au sein d'une entreprise est complexe. En effet, de nombreux métiers et services de l'entreprise doivent être mis en relation pour arriver à l'intégration global des composants du système. Les principales activités supportant cette démarche sont :

⁸<http://www.afis.fr>

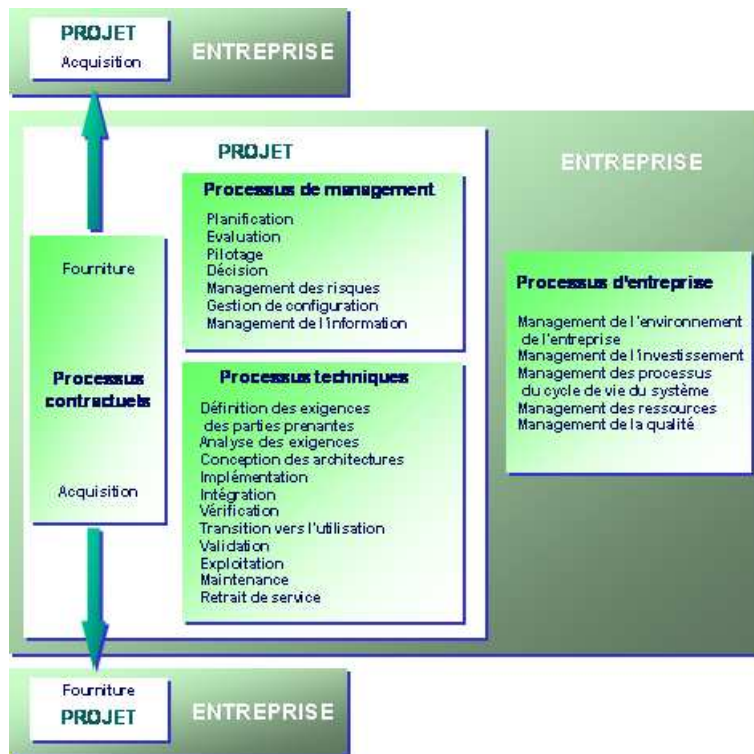


FIG. 2.26 – Imbrication des différents processus de l'ingénierie système

- tracer les exigences ;
- justifier les choix, vérifier et valider tout résultat.

2.2.3.3 Démarches envisagées

Dans le cadre du déploiement de l'ingénierie service de l'AFIS, 2 types de démarche sont généralement employées :

1. La démarche par fonctions
2. La démarche par objets

La démarche par fonctions a pour but de représenter le système sous forme d'une architecture de fonctions échangeant des flux qui se concrétiseraient par une architecture d'organes réalisant des fonctions. La démarche par objets est née de la volonté d'intégrer les comportements des différents organes face aux sollicitations des acteurs de l'environnement. Cette dernière démarche vient d'un besoin des automaticiens d'intégrer des aspects continus

et événementiels dans la description des fonctions.

Dans le cadre des systèmes produits-services, nous pensons que la description de ces 2 démarches est essentielle. En effet, l'aspect fonctionnel est prépondérant dans la conception des différents éléments (principalement physiques) du système. C'est cette démarche structurée par les fonctions qui est utilisée par les concepteurs de produits. Il est ainsi possible de faire le lien entre les attentes du client, les fonctions techniques répondant à ces attentes et les solutions réalisant ces fonctions. Mais nous avançons également qu'une démarche par les activités doit être envisagée. En effet, les unités de services sont principalement constituées de main-d'œuvre réalisant des opérations techniques. Pour réaliser ces opérations techniques, c'est tout un processus qu'il est nécessaire de décrire. Par exemple, avant qu'une unité de maintenance se déplace pour réparer un objet physique, il est nécessaire qu'une identification de la panne soit faite, que l'objet soit immobilisé à un endroit donné et que cette information soit transmise au service concerné. De plus, si nous nous plaçons dans le cadre d'un SPS "orienté utilisation", les interactions entre le système et le client devront également être décrites afin d'envisager différents cas d'utilisation. Cela permettra également de faire émerger différents principes de solutions pour répondre à ces cas d'utilisation.

2.2.4 Les méthodologies de conception produits-services

Du point de vue de la conception, plusieurs travaux sont menés pour tenter d'établir une méthodologie générale pour concevoir les systèmes produits-services. Il est nécessaire de se placer à un niveau macro se détachant ainsi des solutions potentielles qui pourraient être envisagées. Morelli (2003) définit le cadre de la conception des SPS comme :

- une proposition de combinaison d'artefacts technologiques basés sur des paramètres fonctionnels sélectionnés par le concepteur ;
- l'interaction entre le concepteur du service et le client n'est pas influencée par l'artefact industriel étant donné que les fonctions peuvent être réalisées soit par un produit soit par un service.

Ce dernier point met en avant le fait qu'il est nécessaire pour le concepteur de penser fonctions pour le client avant de se tourner vers des solutions techniques (que ce soit des solutions produits ou des solutions services). La conception des systèmes produits-services a bien pour objectif de répondre aux attentes du client, quelle que soit la manière dont cela sera réalisé (i.e. par un produit ou un service). Morelli propose le processus de conception des SPS suivant :

1. Proposition de valeur : définition des besoins à satisfaire.
2. Analyse du marché : définition des clients visés et de leurs modes d'utilisation, analyse de services similaires.
3. Définition produit/service : définition de l'architecture et des principales fonctionnalités attendues.
4. Analyse de cas d'utilisation : analyse de plusieurs conditions d'utilisation sur la base des recherches faites et informations disponibles. Les hypothèses engendrées dans cette phase sont utilisées pour définir les fonctions essentielles, les exigences et priorités.
5. Tentative d'architecture : une tentative (ou prototype) de service est faite à partir des indications de la phase précédente.
6. Test : le prototype est testé pour générer les modes d'utilisation et ainsi vérifier l'efficacité de la solution proposée.
7. Définition finale : redéfinition du service envisagé.

Le point essentiel dans cette démarche est l'analyse de cas d'utilisation. Cette analyse basée sur le marché visé, mais également sur une première définition du système, permet aux concepteurs de s'interroger sur la manière dont va être utilisé le système. De plus, la représentation des différents acteurs et partenaires impliqués dans le système va permettre de définir le rôle de chacun d'entre eux. Pour supporter cette analyse, la représentation blueprint est utilisée.

Morelli (2006) propose différentes activités importantes dans le processus de conception des SPS :

- identifier les acteurs impliqués dans le réseau SPS ;
- détailler des scénarios possibles et des cas d'utilisation pour les SPS ;
- représenter les SPS avec l'ensemble des composants, liens et séquences temporelles.

Comparativement au développement des produits physiques, les scénarios sont des éléments centraux dans le cadre de la conception des SPS car ils permettent de définir les activités faites par le client, ainsi que les activités faites au sein du système. De plus, les acteurs du réseau doivent être identifiés afin de définir les rôles et compétences de chacun d'entre eux. En effet, ce sont surtout les services (techniques ou non) de ces systèmes qui nécessitent d'avoir des partenaires privilégiés pour par exemple assurer le dépannage, former le client, le conseiller, etc. L'autre manque dans le développement des SPS concerne les outils de représentation. Pour passer d'une représentation d'un produit classique à une représentation d'un SPS, il est nécessaire d'adapter et d'apporter des modifications aux outils de représentation utilisés traditionnellement dans la conception des produits "seuls" (Maussang

et al., 2007a). Mais cette représentation est incontournable du fait que la multiplicité des éléments du système (produits physiques, unités de services, agents).

2.2.4.1 Le Développement des Systèmes Produits-Services

Afin d'aider les entreprises à se tourner vers ce nouveau paradigme de production, une méthodologie de conception a été développée pour concevoir les systèmes produits-services. Le projet "MEthodology for developing Product-Service System" (MEPSS⁹) fait partie de l'ensemble des projets européens décrits partie 2.1.4. L'objectif est de fournir aux industries une méthodologie et un ensemble d'outils leur permettant de développer des systèmes soutenable du point de vue du développement durable. Les différentes phases de cette méthodologie sont :

1. l'analyse stratégique des offres existantes ;
2. l'exploration de nouvelles pistes ;
3. le développement d'idées "SPS" ;
4. le développement des SPS.

Pour chacune de ces phases, différents outils sont développés. Le système est étudié dans sa globalité afin de voir quelles sont les sources d'innovation et la valeur supplémentaire qui est apportée aux clients. Une fois de plus, l'exploration de nouvelles pistes SPS est réalisée à l'aide de la description de scénarios. Par l'intermédiaire des scénarios, l'objectif est de formaliser le fonctionnement du système mais également les relations et interactions qui existent entre le système et le client. Les différentes solutions qui peuvent être envisagées sont testées du point du triple "P" du développement durable : économie (profit), social (people), environnement (planet).

Dans cette démarche de conception, les éléments impliqués dans le système ne sont pas suffisamment détaillés par des paramètres de solution. En effet, la description du fonctionnement du système reste un point essentiel lors de la conception des SPS, mais il est néanmoins nécessaire de donner des paramètres de solution pour concevoir chacun des éléments impliqués dans le système. L'un des point important dans cette méthodologie est l'apport des scénarios. Les scénarios permettent de décrire le fonctionnement du SPS et comme l'avait souligné Morelli dans les parties précédentes, il est nécessaire de décrire les activités du système. D'une part car cela permet de mettre en évidence les différentes utilisations envisagées pour le client, mais également

⁹[http ://www.mepss.nl](http://www.mepss.nl)

pour décrire comment le système répondra aux attentes du client, que ce soit par des fonctions de produits mais également par des activités du service.

2.2.4.2 Les systèmes produits-services et le développement durable

Maxwell et van der Vorst (2003) détaillent la conception des systèmes produits-services du point de vue du développement durable. L'objectif est d'optimiser les impacts sociaux, environnementaux et économiques des systèmes produits-services ainsi que d'optimiser les fonctionnalités du système. Pour assurer le développement de ces systèmes, une liste de contrôle (checklist) abordant différentes étapes du cycle de vie du système permet aux concepteurs de vérifier la pertinence du système développé. Les étapes du cycle de vie qui sont abordées sont :

- la conception ;
- les matières premières ;
- la production ;
- la distribution ;
- la consommation ;
- la fin de vie.

Le développement de ces systèmes est guidé par un processus d'implémentation découpé en différentes étapes. Ce processus est basé sur une version modifiée de la norme ISO 14062 (ISO, 2002) traitant de l'implémentation des aspects environnementaux durant la conception des produits. Le développement est divisé en 2 grandes parties :

1. Planification stratégique : les aspects organisationnels, les stratégies de développement ainsi que la communication et le recueil d'information sont réalisés afin de cerner au mieux les opportunités de développement possibles.
2. Développement de l'offre : cette deuxième partie est découpée selon les grandes phases de développement de produit/service à savoir le développement du concept, la conception détaillée, le test/prototypage du SPS, la production et le lancement sur le marché.

La deuxième partie insiste particulièrement sur le développement du concept car avec un concept uniquement il y a plus d'opportunités pour le concepteur de développer des solutions plus soutenables, et en particulier du point de vue de l'environnement (Maxwell et van der Vorst, 2003, p. 886). Le process de développement des SPS, et en particulier l'étape de développement du concept est détaillé dans la figure 2.27.

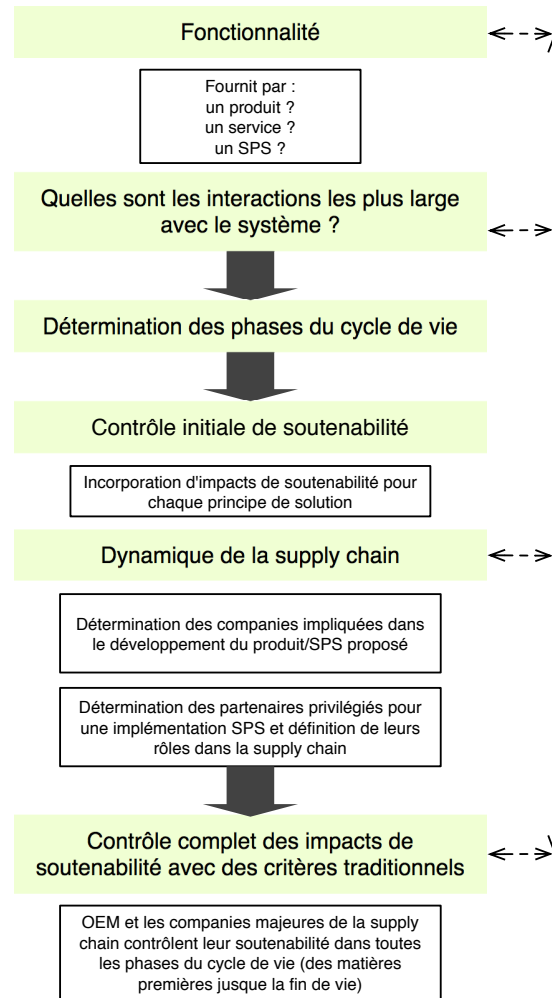


FIG. 2.27 – Etape du développement du concept dans le cadre du développement des systèmes produits-services durables

Dans le but de maximiser les performances environnementales des systèmes produits-services, différentes stratégies sont mises en avant :

- fournir la fonctionnalité de la manière la plus durable ;
- incorporer les interactions système les plus larges possibles ;
- concevoir pour allonger la durée de vie ;
- concevoir pour réutiliser les produits ;
- matériaux et ressources :
 - utiliser des matériaux bénéfiques pour l'environnement (ou ayant un faible impact) ;

- éliminer ou réduire l’usage des matériaux et de l’énergie ;
- éliminer ou réduire les impacts dus à l’extraction et le traitement.
- maximiser les performances environnementales dans :
 - le processus de production : utilisation des ressources et élimination (ou réduction) des déchets et des émissions produites ;
 - le système de distribution ;
 - la consommation d’énergie ;
 - l’emballage ;
 - les systèmes de fin de vie/revalorisation.
- respecter les lois locales, nationales et internationales.

Afin de respecter au mieux les 3 piliers du développement durable formés par les aspects sociaux, environnementaux et économiques, un guide pour les concepteurs a été créé dans le but de prendre en compte ces aspects au plus tôt durant le processus de conception. Ce contrôle de la soutenabilité des solutions se fait principalement durant le développement du concept. En effet, les possibilités d’action et de modifications sont les plus importantes dans cette phase. C’est la raison pour laquelle il vaut mieux contrôler au plus tôt différentes alternatives de solutions afin de choisir le système qui aura les meilleures performances environnementales, sociales et économiques. Il est également clair que pour avoir un contrôle le plus juste possible, il faut que le produit/SPS soit suffisamment avancé pour avoir un détail des paramètres de solutions.

2.3 Conclusion

Les concepts existants traitant des ensembles produits-services couvrent un large champ. Des ensembles basés sur un produit auquel des services techniques sont ajoutés comme dans le cadre des produits étendus, aux systèmes produits-services délivrant au client un résultat, une fonction ou un résultat, la notion d’intégration entre le produit et le service varie. Dans le cadre des produits étendus, les services techniques sont ajoutés a posteriori du développement des produits. Nous souhaitons nous impliquer dans le développement intégré des systèmes produits-services. Le processus de développement ne doit pas se diviser entre un développement produit et un développement du service, mais c’est le système dans sa globalité qui doit être développé. Le concepteur ne se focalise pas davantage sur un objet physique ou un service. C’est bien un développement simultané du produit et du service qui doivent être réalisés.

Dans le cadre des méthodologies de conception étudiées, 3 grandes familles ont été identifiées :

Les méthodes orientées produit Ces méthodologies sont focalisées sur le développement du produit avec principalement 3 grandes phases qui sont la conception conceptuelle, la conception détaillée et l'industrialisation. Depuis quelques années, ces méthodes s'intéressent plus particulièrement aux services techniques (maintenance, téléservice, etc.) qui peuvent améliorer le cycle de vie du produit. L'ingénierie système que nous avons développé dans la partie 2.2.3, est également centrée sur les systèmes mécaniques complexes. Dans ce cadre, les services techniques qui peuvent être ajoutés ne sont pas traités. Néanmoins, le découpage du système en sous-système et le processus d'intégration des sous-systèmes est un élément essentiel pour assurer la cohérence du système.

Les méthodologies orientées service Ces méthodologies se focalisent sur la modélisation du service par des représentations telles que le blueprint ou le modèle des activités SADT. Ces méthodes permettent de représenter dans la globalité l'organisation mise en place pour délivrer le service mais ne se focalisent pas assez sur les caractéristiques des produits impliqués. Or notre travail est bien de voir les conséquences sur les produits impliqués dans ces systèmes, par conséquent un manque de spécifications techniques "produits" a été identifié.

les méthodologies pour les systèmes produits-services La méthodologie pour développer les systèmes produits-services (van Halen *et al.*, 2005) centre ses efforts sur les phases de conception préliminaires. En effet, cette méthodologie se focalise principalement sur la recherche de nouvelles possibilités de service en identifiant de nouveaux marchés ou nouvelles fonctionnalités. Dans cette démarche, les scénarios sont des éléments centraux pour faire émerger ces nouveaux besoins. La encore, nous avons identifié un manque de spécifications des objets physiques impliqués dans ces systèmes.

Nous voyons donc à travers cette étude qu'il est nécessaire de faire une modélisation globale du système. Cette modélisation système a pour but de ne pas se focaliser particulièrement sur un objet physique ou une unité de service. Nous pointons également l'importance des scénarios dans la conception des SPS. En effet, les interactions entre les clients/utilisateurs et le système doivent être décrites afin de voir quelles seraient les fonctionnalités attendues par le client. Les scénarios peuvent également être utilisés pour décrire le fonctionnement globale en interne du système. Ceci permettra par exemple de déterminer le rôle de chacun des éléments impliqués dans le système. Parallèlement à la description de ces scénarios, une modélisation en interne du système permet de voir les liens qui existent entre les différents éléments. Cette méthodologie doit ensuite permettre aux concepteurs d'ob-

tenir des paramètres liés aux objets physiques impliqués dans ces systèmes. Ces paramètres devront être choisis en fonction des paramètres des éléments étant en relation. Pour cela, une phase d'évaluation devra être mise en place.

Nous présentons dans le chapitre suivant la méthodologie de conception que nous proposons. Couplant une approche de développement par les fonctions avec une approche par les activités, cette méthodologie est également basée sur un certain nombre d'outils et de méthodes support à la démarche de conception. Enfin, une évaluation des solutions en cours de conception est envisagée afin de valider les choix des concepteurs.

Chapitre 3

Méthodologie de conception des systèmes produits-services

La conception des systèmes produits-services ne peut se faire de la même manière que la conception de produits classiques. L'ensemble du système est à prendre en compte durant le processus de conception. Pour illustrer nos propos, nous nous baserons sur le cas de l'exemple Vélo'v qui a été présenté dans la partie 1.3.1 page 12. Il faut concevoir de manière intégrée les objets physiques et unités de service impliqués dans ces systèmes. Dans ce chapitre, nous allons donc décrire les entités suivantes :

- le rôle des fonctions, solutions et activités au sein du processus de conception ;
 - les modèles de représentation des systèmes produits-services développés ;
 - la démarche d'utilisation des scénarios durant le processus de conception ;
 - la méthodologie de conception que nous proposons pour assister le processus de conception des systèmes produits-services ;
 - les supports pour l'évaluation des solutions en cours de conception.
-

3.1 Fonctions - Solutions - Activités : quels rôles dans le processus de conception ?

3.1.1 Les fonctions dans un processus de conception

Dans un problème de conception, le cheminement depuis les besoins jusqu'aux solutions envisagées peut être fait en s'appuyant sur les fonctions techniques à réaliser : c'est ce que nous appelons l'approche fonctionnelle. L'approche fonctionnelle de la conception amène le concepteur à penser "fonctions" et non pas "solutions" pour répondre au problème de conception qui lui est posé. Dans cette approche, les besoins sont détaillés en fonctions externes : les fonctions de service, qui sont mises en place pour satisfaire les fonctionnalités attendues par le client et les acteurs du cycle de vie du système. Ces fonctions sont ensuite décrites en fonctions techniques puis progressivement en solutions pour y répondre. Prudhomme *et al.* (2003) mettent

en évidence les liens qui existent entre les fonctions externes, les fonctions internes et les solutions techniques. Ainsi, pour chacune des fonctions et solutions, des critères et paramètres de solution les caractérisent. Il est clair qu'il existe un lien entre ces différents critères et que pour contrôler les solutions envisagées, il faut que le concepteur s'assure que les solutions respectent les besoins et fonctions (voir figure 3.1). Par conséquent, le suivi des exigences doit faire partie de tout processus de conception, que ce soit pour un produit ou un service. En ce sens, des travaux sont actuellement menés pour réaliser ce suivi et ainsi garantir le respect des exigences et besoins exprimés par le client (Claros-Salinas, 2008).

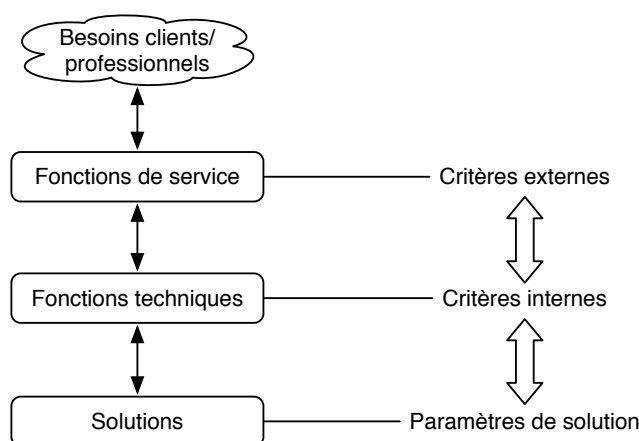


FIG. 3.1 – Liens fonctions-solutions-critères

Dans le cadre du développement des systèmes produits-services, il est possible d'adopter ce type d'approche. La transcription des besoins, en fonctions externes puis internes permet aux concepteurs de s'interroger et de s'orienter vers des principes de solutions. Bien souvent, le passage des besoins aux solutions n'est pas aussi séquentiel, mais ce type d'approche permet de s'interroger sur l'essence même de l'objet à concevoir. En pensant fonctions et non solutions, le concepteur s'oriente alors vers des principes de solutions une fois que les fonctions à réaliser pour répondre aux besoins du client ont été définies. Cette approche par les fonctions est certainement celle qui apporte le plus d'innovation dans le cadre du développement de nouveaux produits puisque le concepteur doit repenser totalement les solutions existantes afin de répondre au mieux aux fonctions attendues par le client.

Mais le cheminement de cette démarche par les fonctions n'est pas aussi "simple" et automatique. Bien souvent, les concepteurs passent des fonctions de service aux solutions avant de faire émerger les fonctions techniques du

système. Ils se rattachent ainsi à des éléments physiques dont ils ont la connaissance et l'expérience. C'est ce que nous nommons l'approche par les solutions.

Dans le cadre de la conception des systèmes produits-services, nous proposons d'étudier systématiquement des fonctions spécifiques que l'on retrouve dans tous les systèmes produits-services. Ces fonctions spécifiques aux SPS traitent principalement de la garantie du bon fonctionnement, de l'assurance de disponibilité, de la formation du client, etc. Ces fonctions spécifiques sont détaillées dans la partie 3.4.2.

3.1.2 Les solutions dans un processus de conception

Bien souvent, un grand nombre de solutions sont déjà présentes dans la tête d'un concepteur avant même de penser à formuler le problème sous forme de fonctions techniques. Le concepteur a déjà une idée sur la manière dont il résoudra le problème de conception qui lui est posé. C'est d'autant plus vrai dans le cadre de développement de produits à partir de solutions existantes, étant donné que le concepteur repart de solutions qui existent. Il ne cherche même pas à détailler les fonctions techniques nécessaires pour répondre aux besoins du client. Dans le cas d'une reconception pour optimiser une solution, ce type d'approche peut être utilisé mais si le concepteur veut apporter de l'innovation, des solutions nouvelles et des fonctionnalités supplémentaires comme on l'attend des SPS, alors il est nécessaire de ne pas être focalisé uniquement sur les solutions. Cette approche ne doit donc pas être utilisée de manière indépendante d'une approche par les fonctions.

Mais cette approche par les solutions ne doit pas empêcher le concepteur de détailler les fonctions techniques de l'objet conçu. C'est pour cela qu'il doit également repasser par l'élicitation des fonctions techniques pour revenir ensuite aux solutions envisagées. Le premier passage par les solutions (comme illustré figure 3.2) est un moyen de faire émerger plus facilement les fonctions techniques qui seront réalisées.

Prenons l'exemple du développement d'un nouveau vélo. Chaque année, de grandes enseignes de magasin de sport proposent de nouvelles gammes de vélo. Le plus souvent, ces nouvelles gammes n'ont pas de grands changements par rapport à la génération précédente, mais ce sont plutôt des optimisations "locales" sur certains composants qui sont faites. Le processus de conception dans ce cas-là commencerait par l'établissement du cahier des charges, puis à partir de la génération précédente le concepteur choisirait des composants spécifiques. On est alors plus dans un processus d'optimisation que dans un processus d'innovation. De plus, les fonctions techniques ne sont plus

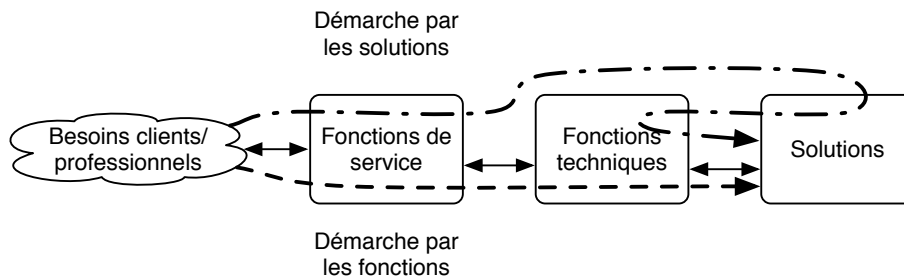


FIG. 3.2 – Approche de conception par les fonctions et par les solutions

étudiées puisque le concepteur va spécifiquement étudier et optimiser certains composants.

Dans le cadre de la conception des SPS, le fait d'interroger simultanément des produits et des services va permettre d'apporter de l'innovation, source de valeur supplémentaire. En effet, on va élargir le champ des solutions possibles pour répondre aux besoins, en particulier en s'interrogeant sur les activités à réaliser.

3.1.3 Les activités : élément fédérateur entre fonctions et solutions

Dans un processus de conception, il existe un lien entre les fonctions et les solutions. Pour établir et qualifier ce lien, on se positionne soit dans une approche par les fonctions ou bien dans une approche par les solutions. Nous proposons de passer par les activités afin d'enrichir les propositions de solutions dans le cadre de la conception du SPS. Une activité peut être définie comme une action faite par une personne dans un but particulier ou bien comme une fonction technique si elle est réalisée par un objet (physique). Nous catégorisons 2 types d'activités :

1. les activités faites par un client pour utiliser un produit/service/système produits-services ;
2. les activités "internes" d'un produit/service/système produits-services pour répondre aux besoins du client

La description d'activités d'interaction faites entre le client et le système permet de définir un certain nombre de fonctionnalités que doit proposer le système pour répondre à ces interactions. En illustrant ce propos par l'exemple d'un service de location de DVD, des interactions entre la machine

et le client existent pour pouvoir retirer le DVD choisi par le client. Ainsi, des fonctionnalités telles que la réservation rapide, la recherche de titres de films par année, date, etc. peuvent être identifiées lors de la description de scénarios d'utilisation. Les activités faites en interne du système pour assurer le fonctionnement permettent quant à elles de faire le lien entre les fonctions techniques et les solutions. Ainsi, que ce soit la description d'activités internes comme externes, cela peut faire émerger des principes de solutions.

Dans la production de services définie comme "servuction" par Eiglier et Langeard (1994), le client est au cœur de la production du service. En effet, sans client il n'y a pas de service. Le client, ainsi impliqué dans la livraison du service, participe aussi à sa bonne réalisation. Dans le cadre des systèmes produits-services, et en particulier dans la catégorie "services orientés utilisation", le client est donc amené à participer à l'utilisation du système qui lui délivrera un service par le biais de l'utilisation d'un objet physique. Qui dit utilisation, dit donc interaction entre le client et le système. Par conséquent, il nous semble important dans le processus de conception des systèmes produits-services d'avoir une approche par les activités. C'est pour cette raison que nous proposons de mettre en place, en parallèle de l'approche par les fonctions, une description des activités faites par le client pour utiliser le système. Cette description des interactions doit permettre aux concepteurs à la fois de décrire l'enchaînement des activités faites par le client pour utiliser le système, mais également de "matérialiser" les premiers éléments du système. C'est ce que nous appelons les scénarios d'utilisation. Ces scénarios seront présentés dans la partie 3.3.

3.1.4 Innovation et conception système

Dans le cadre du développement des systèmes produits-services, les principes de solutions pouvant être envisagés peuvent être basés sur des produits ou des services. La typologie SPS présentée partie 2.1.4.2 montre que la valeur retirée du système peut être faite principalement par l'intermédiaire de produits, de services ou d'un mix des 2. L'innovation dans le cadre des SPS passe par la proposition de solutions nouvelles répondant aux besoins du client. Dans la démarche de conception que nous proposons, l'innovation peut donc se faire sur les objets physiques impliqués, sur les unités de service mises en jeu mais également sur la manière de fournir le service attendu par le client. Le service attendu par le client est fonction de l'organisation mise en place entre les différents éléments du système.

Le fait par exemple de miser plus sur une unité de service que sur l'objet physique pour assurer une fonction, va imposer des contraintes plus impor-

tantes sur cette unité de service, forçant ainsi le concepteur à innover pour tenir ces contraintes. A l'inverse, miser plus sur l'objet physique, va amener lors de la conception une formulation des niveaux de contraintes plus élevés et donc à réinterroger les principes de solutions actuellement en place. Comparons une boucle de conception dédiée à assurer le bon fonctionnement d'un système. Dans cette boucle sont impliqués un objet physique et une unité de maintenance. Deux systèmes peuvent être envisagés : dans un cas, nous avons un objet très robuste ne nécessitant que très peu de maintenance. Dans le deuxième cas, l'objet est un peu moins fiable et nécessite donc des réparations plus fréquentes. Selon le cas choisi par le concepteur, il sera donc nécessaire de dimensionner correctement la maintenance afin de garantir au client le bon fonctionnement du système. La démarche inverse pourrait être faite, c'est-à-dire qu'à partir d'un nombre donné de techniciens impliqués dans l'unité de maintenance, quelle serait la fiabilité requise sur l'objet pour répondre à un critère de disponibilité du système. La question qui se pose alors est la suivante : est-il préférable de choisir le système dans lequel l'objet est très fiable ou bien d'opter pour un objet un peu moins fiable ? Il est donc nécessaire pour le concepteur d'évaluer les 2 systèmes, l'innovation pouvant s'opérer sur le produit, en choisissant les composants les plus fiables, ou bien être envisagée par l'intermédiaire des unités de maintenance.

3.1.5 Synthèse

Dans le cadre de la conception des SPS, une approche basée sur la mise en évidence des activités d'utilisation doit être faite. Cette approche a pour but d'amener le concepteur à réfléchir sur la manière dont le client va utiliser le système. De plus, l'approche par les activités doit également être conduite en parallèle d'une approche par les fonctions, sachant que l'on retrouve dans la plupart des SPS des fonctions techniques spécifiques. Enfin, une modélisation des scénarios de fonctionnement permettrait aux concepteurs de détailler l'organisation interne entre les éléments.

3.2 Modèles de représentation des systèmes produits-services

Nous allons traiter dans cette partie de la nécessité de modéliser le système dans sa globalité. L'attrait des systèmes produits-services par rapport aux produits vendus seuls est bien le fait que la fonction fournie au client peut être faite soit par un objet physique soit par une unité de service, mais dans un système globale produits-services. Durant le processus de conception

il est donc nécessaire de ne pas se focaliser particulièrement sur une solution technique (objet physique ou unité de service), mais bien d'étudier et de modéliser l'ensemble des fonctions de service du système qui sont attendues par le client. Après avoir identifié les fonctions externes, il est alors possible de faire émerger des éléments de solution en rentrant dans le détail du système. C'est pour cela que nous utilisons 2 modes de représentation des systèmes produits-services, à savoir :

- le système dans son environnement pour détailler les fonctions satisfaisant les besoins externes ;
- une modélisation interne du système pour faire apparaître les solutions techniques envisagées et leurs organisations.

Cette modélisation globale du système empêche le concepteur de se focaliser sur un élément en particulier. L'objectif de cette modélisation basée sur des représentations de l'analyse fonctionnelle est de faire une première modélisation globale du système avant de faire des modélisations spécifiques des différents éléments impliqués dans le système. Nous détaillons dans la première partie la modélisation externe du système dans son environnement puis détaillons ensuite la représentation interne qui peut être faite.

3.2.1 Modélisation du système dans son environnement

Les systèmes produits-services ont pour objectif de satisfaire les besoins du client et si possible en augmentant la valeur ajoutée. Pour répondre à ces besoins, un certain nombre de fonctions sont à réaliser : ce sont les fonctions externes du système. Pour représenter et identifier ces fonctions, nous nous basons sur le graphe des interacteurs de l'analyse fonctionnelle. Dans cette représentation, le système est vu comme un boîte noire qui interagit avec des milieux extérieurs. L'objectif de cette représentation est de détailler les fonctions externes attendues du système (voir figure 3.3). Tout comme dans un graphe des interacteurs "produit", 2 types de fonctions externes peuvent être exprimées :

- les fonctions d'interaction mettant en relation au moins 2 milieux extérieurs par l'intermédiaire du système ;
- les fonctions d'adaptation dues à la relation avec un milieu extérieur.

Dans cette représentation, les milieux extérieurs sont considérés comme des données d'entrée au problème de conception. Les critères de ces milieux sont à prendre en compte par le concepteur durant la conception. Prenons l'exemple d'un stylo. La fonction attendue d'un stylo est de laisser une trace sur un support. Suivant le type de support sur lequel l'utilisateur souhaite laisser sa trace, les solutions techniques ne seront pas les mêmes. Entre un

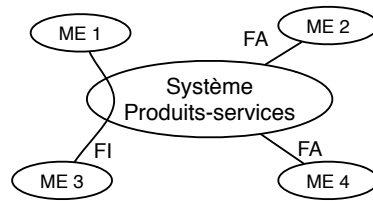


FIG. 3.3 – Modélisation externe du SPS dans son environnement

stylo pour écrire sur une feuille de papier et un stylo pour écrire sur un tableau blanc, les solutions techniques ne sont pas les mêmes. C'est donc en tenant compte de ces données d'entrée que le concepteur se dirige vers telle ou telle solution. Pour le développement des systèmes produits-services, cette démarche de prise en compte des milieux extérieurs est la même que lors de la conception de produits.

3.2.2 Modélisation interne des systèmes produits-services

Afin de détailler les éléments de solution impliqués dans ces systèmes, il est nécessaire de représenter "en interne" le système. Pour faire cette modélisation, nous nous appuyons sur l'outil bloc diagramme fonctionnel de l'analyse fonctionnelle. Comme les systèmes produits-services sont composés d'objets physiques et d'unités de service, nous proposons de différencier ces 2 éléments dans la représentation interne. Les objets seront représentés par des rectangles, tandis que les unités de service seront représentées par des rectangles aux coins arrondis (voir figure 3.4).

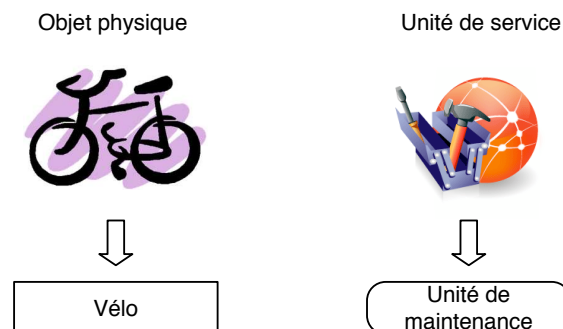


FIG. 3.4 – Schématisation des objets physiques et unités de service dans la modélisation interne

Le bloc diagramme fonctionnel permet de modéliser les éléments impliqués au sein d'un système produits-services et en particulier de voir les organisations entre ces éléments. L'organisation entre les éléments est illustrée par les boucles de conception. Ce diagramme permet également de tracer les fonctions d'interaction existantes et qui ont été identifiées dans l'analyse externe du système. Ces fonctions passent par les éléments les réalisant. Dans cette représentation, on retrouve donc les éléments suivants :

- les éléments extérieurs représentés par des ellipses ;
- les frontières du système délimitées par des lignes horizontales ;
- les objets physiques, représentés par des rectangles ;
- les unités de services, représentées par des rectangles aux coins arrondis ;
- les fonctions d'interaction, passant par les éléments participant à leurs réalisations ;
- les fonctions d'adaptation représentées par des symboles ;
- les contacts entre les éléments ;
- les boucles de conception, décrivant une organisation particulière entre des éléments pour réaliser une fonction technique particulière.

La représentation interne illustrée dans la figure 3.5 met en avant les différents éléments que nous venons de citer. La pertinence de cette représentation repose sur la visualisation des boucles de conception et des fonctions d'interaction. Une fonction d'interaction peut par exemple être réalisée par un seul élément du système. Néanmoins, les boucles de conception permettent d'attirer l'attention du concepteur sur la nécessité de ne pas négliger les autres éléments du système. En effet, les boucles de conception sont les organisations particulières entre les éléments répondant à une fonction technique. Aussi, si ces composants ne sont pas conçus assez précisément, il y a alors un risque pour que la fonction d'interaction ne puisse plus fonctionner. Dans cette figure, nous avons illustré les fonctions d'adaptation par des signes particuliers attachés aux milieux extérieurs impliquant ces fonctions. Par soucis de clarté et de lisibilité, ces fonctions ne sont pas illustrés par des liens entre les éléments du système et les milieux extérieurs. Par exemple, la fonction d'adaptation entre le milieu extérieur ME2 et l'objet physique du système est représenté par le symbole "§". Ceci signifie donc qu'il faudra veiller à ce que l'objet physique tienne compte des contraintes imposées par le milieu extérieur.

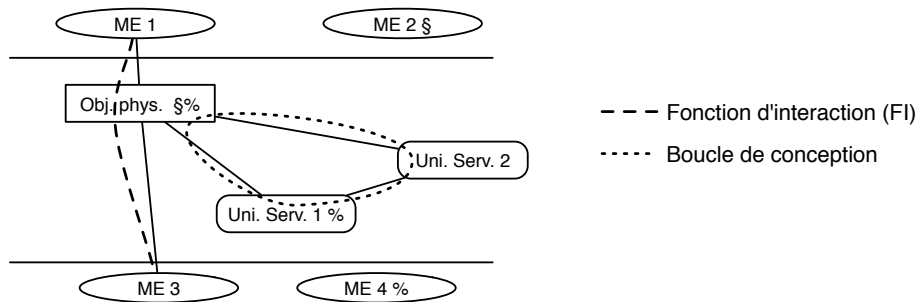


FIG. 3.5 – Représentation interne d'un système produits-services

3.2.3 Comparaison entre une modélisation d'un produit seul et celle d'un système produits-services : l'exemple du SPS Vélo'v

3.2.3.1 Modélisation externe d'un vélo seul

Considérons une personne qui habite en ville et qui souhaite se déplacer en vélo (problèmes de bouchons, coût, etc.). Cette personne va donc acheter un vélo répondant au plus près à ses attentes (poids, vitesse, prix, esthétique, etc.). Pour ce vélo, le client souhaite qu'il résiste aux intempéries et que les risques de vols des différentes pièces soient limités (écrous antivol pour les roues, selle, etc.). De plus, son lieu de travail se trouve à 5 km de son domicile. Par conséquent, il fera 10 kilomètres par jour. En complément du produit, il souhaite avoir une garantie pièces et main d'œuvre d'un an pour des réparations éventuelles sur son vélo. Passée cette garantie, il devra payer pour les coûts de main d'œuvre ainsi que les pièces à changer. Le coût des pièces de rechange peut être un désavantage pour le produit et conduire le client à ne pas l'acheter (exemple des consommables pour les imprimantes).

La modélisation externe du vélo dans son environnement fait apparaître différents milieux extérieurs. De plus, les fonctions attendues par le client du vélo sont également identifiées (fonctions d'interaction et fonctions d'adaptation) comme l'illustre la figure 3.6.

Les fonctions identifiées sont :

- FI1 : permettre au cycliste de se déplacer en ville
- FA1 : résister aux vols des composants
- FA2 : résister au climat
- FA3 : être réparable par le service maintenance

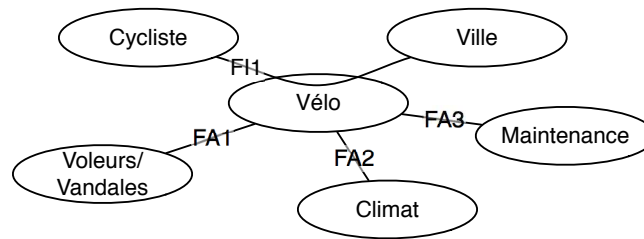


FIG. 3.6 – Représentation du vélo dans son environnement

En complément de ces fonctions, certaines contraintes peuvent être exprimées. Par exemple, une contrainte de fabricabilité sera certainement mise en jeu. Le coût économique va également être une contrainte sur le choix des différents composants. Suite à cela, les fonctions et les contraintes doivent être caractérisées par des critères, niveaux, flexibilités. Un des critères envisagés est la longévité du vélo. Par exemple, le concepteur peut explicitement imposer une longévité d'au moins 1 an afin de limiter les retours au service après-vente et donc les coûts pour le producteur du vélo.

Penchons nous maintenant sur le bloc diagramme fonctionnel de ce vélo. Par soucis de clarté, nous ne détaillerons pas les composants de ce vélo. Ce que nous souhaitons simplement montrer dans la figure 3.7, c'est que c'est le vélo qui va permettre au cycliste de se déplacer en ville et que les milieux extérieurs tels que la maintenance restent en dehors du produit développé. De plus, ce vélo devra tenir compte des contraintes imposées par les autres milieux extérieurs. Nous les avons identifiées par les symboles suivants :

- "*" pour montrer que le vélo devra tenir compte des contraintes liées au climat ;
- "†" pour prendre en considération les exigences de la maintenance relatives à la réparation du vélo ;
- "‡" pour minimiser les possibilités de vol des différents composants.

Ainsi, les milieux extérieurs impliquant les fonctions d'adaptation vont venir contraindre le problème de conception. Dans le cadre de la conception du vélo impliqué dans un SPS, nous allons maintenant voir que la modélisation interne du vélo va conduire à des spécificités particulières. Imaginons que le service maintenance devant réparer le vélo n'a à sa disposition qu'un marteau et une clé à molette, le concepteur devra donc veiller à ce que l'ensemble des composants du vélo soient démontables avec ses outils. Par exemple, le milieu extérieur "maintenance" ne va pas devenir une contrainte inflexible mais il sera possible de jouer sur certains paramètres et ainsi voir

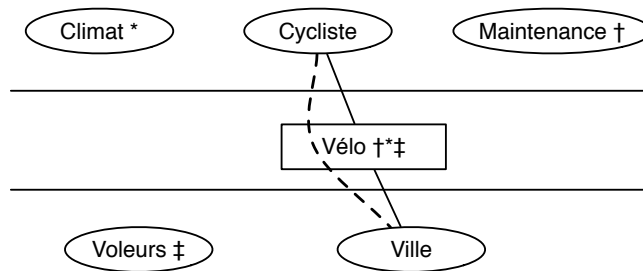


FIG. 3.7 – Représentation interne du vélo seul

le problème de conception différemment.

3.2.3.2 Modélisation d'un système de location de vélos

Dans le cas du système de location Vélo'v, c'est le prestataire de service qui va être en charge de payer les coûts relatifs aux diverses réparations du système. Pour satisfaire le client et l'encourager à utiliser le service, il voudra donc que les produits aient une disponibilité maximale en limitant au maximum les immobilisations des vélos pour cause de pannes. Cela peut passer par un choix des composants à durée de vie élevée et non sur un critère de coût minimum. Cela peut également se faire par la mise en place d'un service de maintenance très important. Ce choix entre la maintenance et les composants robustes du vélo passera forcément par une analyse économique de ces 2 alternatives.

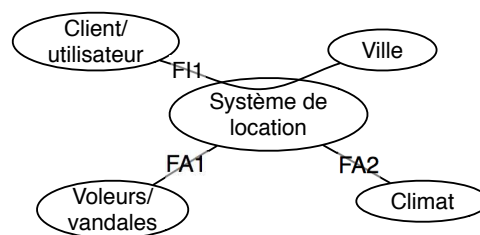


FIG. 3.8 – Représentation externe du système de location Vélo'v

Dans le cadre de ce système de location, nous allons considérer le système comme la boîte noire à concevoir (voir figure 3.8). On retrouve des éléments extérieurs rencontrés dans le cadre de la représentation du vélo seul mis à part que cette fois ci la maintenance n'est plus considérée comme un milieu

extérieur. En effet, la maintenance fait maintenant partie du système et contribue à la disponibilité du service. Par contre, le système sera lui aussi soumis aux aléas climatiques, aux divers vandales qui peuvent s'en prendre au système. Les fonctions attendues sont :

- FI1 : le système permet au client de se déplacer en ville
- FA1 : le système doit résister aux vandales et voleurs
- FA2 : le système doit résister au climat

A partir de l'identification de ces fonctions, nous pouvons maintenant détailler les éléments de solution qui sont impliqués dans ce système. Nous retrouvons des objets physiques avec les vélos et les stations, mais également des unités de service : l'unité de maintenance, l'unité de régulation, le central d'appels. Ces éléments de solutions peuvent être modélisés dans un bloc diagramme fonctionnel étant donné qu'ils font partie du système.

Comme le montre la figure 3.9, la fonction d'interaction "permettre au client de se déplacer en ville" est faite par l'intermédiaire du vélo. Néanmoins des différences avec l'analyse interne du vélo seul discutée dans la figure 3.7 apparaissent. Le vélo est cette fois-ci impliqué dans d'autres boucles de conception alors que précédemment il n'était contraint que par les milieux extérieurs tels que le climat, la maintenance. Les 3 boucles incluant le vélo sont celles qui permettent d'assurer le bon fonctionnement des objets physiques au sein du SPS (donc le vélo), d'emprunter et de rapporter un vélo et enfin de répartir les vélos dans les stations. Cette modélisation souligne donc que dans le cadre du développement d'un système comme celui-ci, il est nécessaire de développer le vélo pour se déplacer en ville mais également les autres éléments impliqués dans les boucles de conception pour assurer le service. Prenons l'exemple de la boucle de conception "assurer le bon fonctionnement". Dans cette organisation particulière entre le vélo et la maintenance, il est possible de mettre beaucoup de personnel dans l'unité de maintenance afin de réparer les vélos, mais on peut également envisager de mettre des vélos très fiables et robustes, ce qui permettrait de limiter le nombre de personnes dans l'unité de maintenance. Il est donc essentiel de faire une évaluation des solutions selon les critères des boucles de conception afin de pouvoir comparer les alternatives de solutions. Nous discuterons plus précisément de l'évaluation de ces systèmes dans la partie 3.5 page 107.

A partir de cette analyse interne du système, il est possible de descendre sur une analyse externe d'un élément du système. Nous allons nous focaliser sur le vélo. Ce vélo est en relation avec le client et la ville pour assurer le déplacement, avec la station, l'unité de maintenance et l'unité de supervision dans le bloc diagramme fonctionnel de la figure 3.9.

Ces éléments deviennent donc des milieux extérieurs au vélo. Les milieux

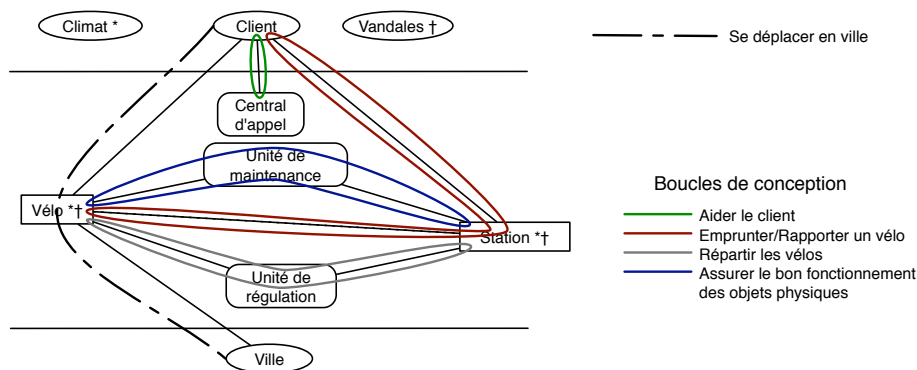


FIG. 3.9 – Représentation interne du système de location de vélos

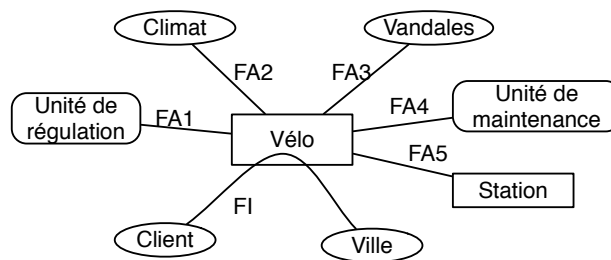


FIG. 3.10 – Pieuvre du vélo impliqué dans le système de location

extérieurs "climat" et "vandales et voleurs" restent quant à eux identiques à l'analyse externe système qui a pu être menée. Cette modélisation externe du vélo (voir figure 3.10) permet de faire apparaître les fonctions de service suivantes :

- FI1 : le vélo permet au client de se déplacer en ville ;
- FA1 : le vélo doit être transportable par l'unité de régulation ;
- FA2 : le vélo doit résister au climat ;
- FA3 : le vélo doit résister aux actes de vandalisme ;
- FA4 : le vélo doit être réparable par l'unité de maintenance ;
- FA5 : le vélo doit être identifiable/stockable dans les stations.

Les caractéristiques du milieu extérieur sont données, avec par exemple une température moyenne, le nombre de jours de pluie, etc. Si nous étudions la fonction d'adaptation FA1 "le vélo doit être transportable par l'unité de régulation", des données relatives à cette unité seront données. Par exemple, la largeur de la remorque de l'unité a été fixée lors de l'analyse système à

1,5 mètres de large. Le stockage des vélos étant prévu dans le sens de la largeur, la longueur maximale des vélos ne devra pas dépasser 1,5 mètres. Si au cours de la conception du vélo on s'aperçoit que cette contrainte ne peut pas être respectée, alors une négociation devra être entamée avec les personnes en charge du développement de l'unité de maintenance. Cette représentation indique donc que des compromis peuvent être trouvés même lors de la conception détaillée des éléments du système. C'est pour cette raison qu'il est également essentiel de garder les liens qui existent entre les différents éléments. Par la représentation que nous proposons, il est possible de voir que ce lien existe. En effet, les objets physiques et unités de service impliqués dans le système, et également en cours de conception, sont représentés avec le même formalisme de la représentation interne.

3.2.3.3 Spécificités des modélisations entre un produit seul et un système produits-services

Nous avons vu qu'il est nécessaire de modéliser le système dans sa globalité avant de pouvoir passer à la conception des objets physiques impliqués dans ces systèmes. Ce passage par la modélisation du système va permettre de voir les relations entre les éléments et d'en tenir compte lors de la représentation externe faite par élément. Nous avons illustré par la figure 3.11 le lien qui existe entre l'analyse système et l'analyse des composants impliqués dans ces systèmes. La représentation externe du système fait apparaître les fonctions de service attendues (ici F1, FA1 et FA2). A partir des éléments de solution envisagés pour répondre à ces fonctions (Objet physique, Unité de service 1 et Unité de service 2), la représentation interne permet de faire le lien entre ces éléments ainsi que de voir par quels éléments passe la fonction d'interaction FI. Une boucle de conception est également identifiée entre les 3 éléments. A partir de cette modélisation interne du système, nous nous focalisons maintenant sur l'étude de l'objet physique impliqué dans ce système. Dans la représentation interne réalisée, nous voyons que cet objet a des liens avec les 2 unités de service et les milieux extérieurs ME1, ME2 et ME3. Une analyse externe de l'objet physique impliqué dans le système est maintenant réalisée. A partir des liens qui viennent d'être identifiés, les 2 unités de service ainsi que les 3 milieux extérieurs deviennent des éléments environnants à l'objet. La fonction d'interaction passant par l'objet et mettant en relation ME1 et ME3 peut être à nouveau identifiée comme une fonction d'interaction dans cette analyse. Mais d'autres fonctions de service peuvent également être définies à partir de liens et des boucles de conception tirés de l'analyse interne système. Nous avons volontairement gardé le formalisme des objets physiques et unités de service utilisé pour la représentation interne du sys-

tème (voir figure 3.4) afin de montrer que l'on a toujours un degré de liberté par rapport à ces éléments qui sont aussi en cours de conception. En effet, les paramètres des éléments, que ce soit pour les unités de service ou pour les objets physiques, ont été définis lors de l'analyse système mais peuvent être renégociés si aucune solution n'est trouvée pour l'objet physique.

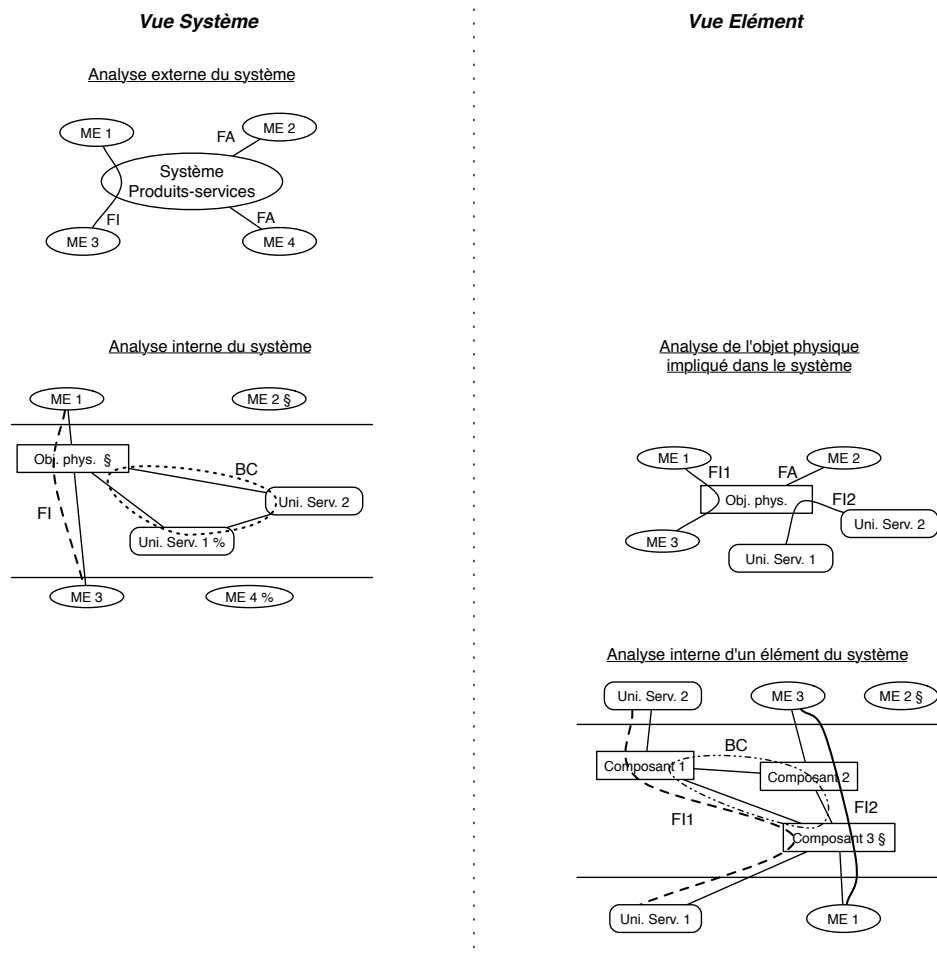


FIG. 3.11 – De l'analyse externe du système à l'analyse interne d'un élément

3.3 Les scénarios dans la conception des systèmes produits-services

3.3.1 Les scénarios dans les processus de conception

La résolution d'un problème de conception est souvent difficile, notamment au début de la conception étant donné que relativement peu d'éléments sont connus. La définition complète du problème est généralement connue une fois que la solution a été développée. Afin de lier les besoins aux solutions envisagées, nous nous basons sur la mise en place de scénarios permettant de décrire les activités du client par rapport au système mais également pour décrire les activités internes du système. Les scénarios sont utilisés dans 3 domaines particuliers (Anton et Potts, 1998; Jarke *et al.*, 1998) :

1. Les interactions homme-machine
2. L'ingénierie des logiciels
3. La description des processus organisationnels

Comme le définit Carroll (2000), les scénarios sont des histoires dans lesquelles des agents et des acteurs effectuent des tâches et des activités, avec des buts particuliers, dans un contexte donné. Carroll argumente que les scénarios sont des objets de conception orientés activités qui détaillent la manière dont le système est utilisé par l'utilisateur. Mais les scénarios peuvent être vus de différentes manières selon les personnes car ils sont fortement dépendant du contexte. On retrouve donc dans ces définitions les notions d'activité et de but à atteindre. Dans le cadre des SPS, des activités (ou interactions) sont faites entre le client et le système dans le but de délivrer une fonction, un résultat, une utilisation. Trois raisons principales sont également identifiées pour justifier l'utilisation des scénarios dans le processus de conception pour :

1. Présenter et situer des solutions : les scénarios permettent de présenter les activités dans un contexte donné.
2. Illustrer des alternatives de solutions : pour une même activité, le concepteur peut envisager des alternatives de solutions pour la réaliser.
3. Identifier le potentiel des solutions : la présentation de scénarios à des clients peut permettre de juger de son acceptation à utiliser une solution en particulier (e.g. utilisation des NTIC¹ vs. se rendre dans un magasin pour réserver un DVD).

¹Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Les scénarios peuvent également être utilisés pour décrire les états de machine (Bordeleau *et al.*, 2000). A partir de l'état des composants, le scénario va décrire les conséquences "techniques" sur le fonctionnement de la machine. Dans le domaine de l'ingénierie des logiciels, les scénarios permettent de capturer les spécifications des utilisateurs et leurs usages. Hertzum (2003) discute de la forme des scénarios qui, en fonction du but, varie en contenu, forme et cycle de vie. Il note également que les scénarios ont un fort potentiel de médiation entre les objets conçus et les ingénieurs car la description des activités fait converger vers des solutions techniques particulières. Ce dernier point conforte la discussion que nous avons eue dans la partie 3.1.3 et dans laquelle nous argumentons que les scénarios permettent de faire le lien entre les fonctions et les solutions.

Ainsi, les scénarios peuvent apporter des éléments dans le développement des systèmes produits-services en détaillant les activités qui sont exécutées au sein du système mais également pour décrire les activités et interactions entre le client et le système. Dans la méthodologie MEPSS présentée dans la partie 2.2.4.1, les scénarios sont inclus durant le processus de développement. L'objectif des scénarios dans cette méthodologie est d'explorer les opportunités de développement de nouveaux systèmes produits-services. Dans le cadre de la méthodologie que nous proposons, les scénarios interviennent pour décrire la manière dont le client utilise le système (ce sont les scénarios d'utilisation). Cela permet de faire émerger les interactions qui existent entre le client et le système. Comparativement à la méthode MEPSS, une fois les éléments de solution sélectionnés, nous proposons également de décrire les scénarios de fonctionnement du système pour voir la manière dont le système fonctionne. Ces scénarios permettent ainsi de détailler l'enchaînement des activités pour répondre à une fonction technique. Ces 2 types de scénarios, leurs caractéristiques et leurs objectifs sont décrits dans les parties suivantes.

3.3.2 Les scénarios d'utilisation

3.3.2.1 Définition

Afin de décrire les interactions qui existent entre le client et le système, nous employons des scénarios d'utilisation. Ces scénarios permettent au concepteur de décrire l'ensemble des activités faites par le client pour arriver à ses buts. Ces scénarios vont donc "traduire" les interactions entre le client et le système. Nous avons traité dans la partie 2.2.2.2 de l'intérêt de la modélisation SADT dans le cadre de la conception (et principalement de la représentation) de service. Pour supporter la description des différents

scénarios, nous utilisons le formalisme du SADT. Ce formalisme est basé sur la notion d'activités comme l'illustre la figure 3.12.

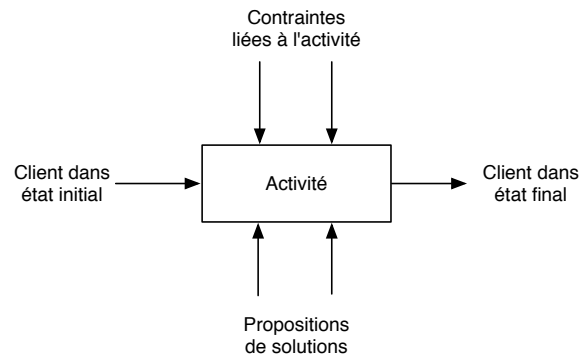


FIG. 3.12 – Mode de représentation d'un scénario d'utilisation

Dans le cadre de la conception des SPS, des principes de solutions (objets physiques ou unités de service) vont supporter les activités réalisées. De plus, chacune de ces activités requiert des exigences (e.g. exigences du client). Par exemple, le client ne tolérera pas d'attendre 10 mn pour emprunter un vélo dans le système de location. Elles peuvent donc être indiquées comme des contraintes liées à l'activité.

3.3.2.2 Les scénarios d'utilisation et les activités réalisées par le client

Les scénarios d'utilisation que nous mettons en place permettent aux concepteurs de décrire les actions qui sont faites par le client pour obtenir le service souhaité du système. Dans le cadre du développement des systèmes produits-services, Matzen et Andreasen (2006) avancent qu'il existe un lien entre les phases du cycle de vie du système et les activités du client. Ainsi, un couplage entre les phases du cycle de vie du système et les activités faites par le client peut être envisagé afin de voir la valeur fournie au client lors des activités qu'il réalise avec le système (voir figure 3.13). Les phases du cycle de vie du système identifiées "classiquement" sont :

- la conception ;
- la production ;
- l'installation ;
- l'utilisation ;
- la maintenance ;
- la fin de vie.

Le client va entrer en interaction avec le système principalement dans la phase d'utilisation. C'est durant cette phase que l'on peut ainsi coupler les activités faites par le client à la phase d'utilisation du système. Pour chacune de ces activités client, le concepteur décrira des "sous-activités" permettant par exemple d'emprunter un vélo du système. Dans le cadre du système Vélo'v, les activités réalisées pendant cette phase par le client sont :

- emprunter un vélo ;
- se déplacer en ville avec le vélo ;
- rapporter le vélo dans un point de location.

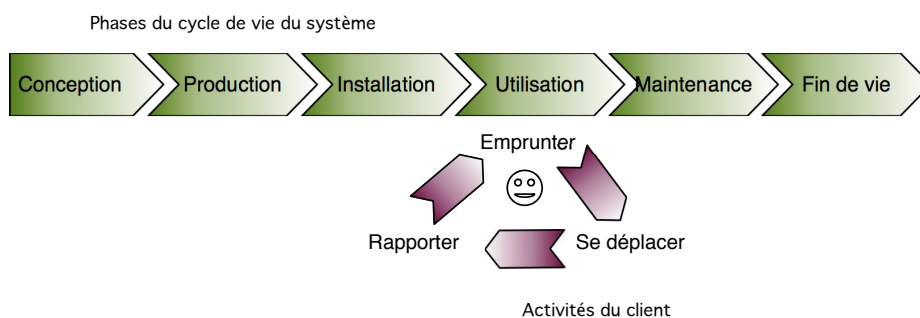


FIG. 3.13 – Description des activités du client durant la phase d'utilisation du système

En ce sens, notre approche permet aussi aux concepteurs de détailler les actions qui sont faites par le client. L'ensemble de ces actions est limité par des contraintes. Par exemple, pour emprunter un vélo, il serait préférable que le client mette moins de 2 minutes pour réaliser cette opération. Ainsi, en fonction du niveau des contraintes associées aux actions du client, il est possible de définir les points à améliorer pour satisfaire le client. Dans le cas idéal, on pourrait dire que le client n'aurait juste qu'à passer sa main devant le vélo pour être identifié, emprunter le vélo et serait facturé dès l'instant qu'il poserait le vélo dans une des stations. Cela amène les concepteurs à considérer également des critères cognitifs tels que le "nombre d'actions à effectuer" et "la difficulté de réaliser l'action".

3.3.2.3 Exemple de l'activité "Emprunter un vélo"

Afin d'illustrer les relations entre les activités du client pendant la phase d'utilisation du système et la description des scénarios d'utilisation, nous allons étudier l'activité "emprunter un vélo" qui est l'une des 3 activités identifiées dans la figure 3.13. Pour retirer un vélo, le client doit faire un

certain nombre d'actions. Il est possible de définir les états initial et final du client. On rejoint ici l'approche de Sakao et Shimomura (2007) dans laquelle le service permet de faire changer l'état d'un client. Avant d'emprunter un vélo du système, le client est donc à pied. Après avoir emprunté un vélo, celui-ci se trouvera en possession d'un vélo afin de circuler en ville. Des contraintes et ressources peuvent être identifiées afin de supporter cette activité. Les supports à cette activité sont les vélos et les stations. Le concepteur peut dans un premier temps identifier une contrainte "client" qui serait un temps maximum pour emprunter un vélo. Ces informations seront autant de paramètres à prendre en compte lors du développement de ce scénario d'utilisation (voir figure 3.14).

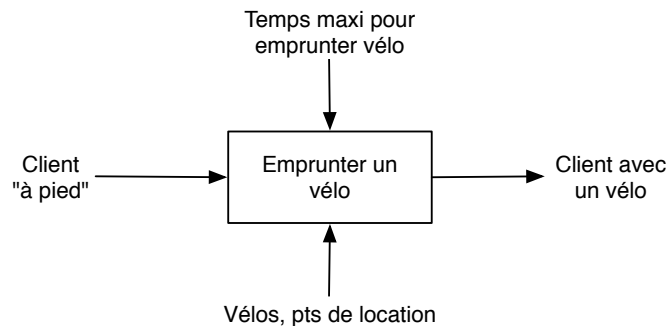


FIG. 3.14 – Etat initial de l'activité "Emprunter un vélo"

Comme nous l'avons dit dans la partie 3.3.2, la mise en place de ces scénarios d'utilisation doit permettre aux concepteurs d'identifier des principes de solutions supportant les activités à réaliser. Pour emprunter un vélo, le client a besoin de se rendre aux points de location. Les principes de solutions identifiés pour les points de location sont des stations dans le cas du système Vélo'v, mais le concepteur pourrait également imaginer mettre les vélos à disposition aux grands carrefours de la ville comme pour le système Call a Bike². La contrainte identifiée pour cette activité est relative au temps maximum que le client est prêt à passer pour se rendre jusqu'à la station. Une fois sur place, il ne lui reste plus qu'à procéder aux autres activités qui sont choisir un vélo, s'identifier, libérer le vélo. Ce scénario sera décrit dans la partie 3.4.3.

Ainsi, pour chaque activité, des principes de solution sont utilisés. Par exemple, l'identification du client dans le cadre du système Vélo'v est faite par l'intermédiaire d'un terminal à la station et d'une carte dédiée délivrée

²<http://www.callabike-interaktiv.de/kundenbuchung/>

au client. Comparativement au système Call a Bike, l'identification du client se fait par l'intermédiaire d'un central d'appel en authentifiant le client par l'intermédiaire de sa carte bancaire.

3.3.3 Les scénarios de fonctionnement

3.3.3.1 Définition

Afin de détailler les actions internes du système pour répondre aux attentes du client, nous proposons la mise en place de scénarios de fonctionnement. Basé sur la même représentation que les scénarios d'utilisation, ils doivent conduire le concepteur à proposer un enchaînement d'activités pour répondre à une fonction technique du système. Tout comme dans les scénarios d'utilisation, chacune des activités est supportée par des principes de solution et sous l'influence de contraintes. De plus, dans le cadre de la description de ces activités, les unités de service sont détaillées avec des objets physiques et des personnes impliquées au sein de cette unité. Dans le cadre de la fonction technique "réparer les vélos en panne", cette activité sera réalisée par l'intermédiaire de l'unité de maintenance et la contrainte identifiée est un temps de réparation par vélo qui doit être minimum (voir figure 3.15). Nous voyons dans la partie suivante à la fois comment cette activité est réalisée mais également avec quelles solutions techniques.

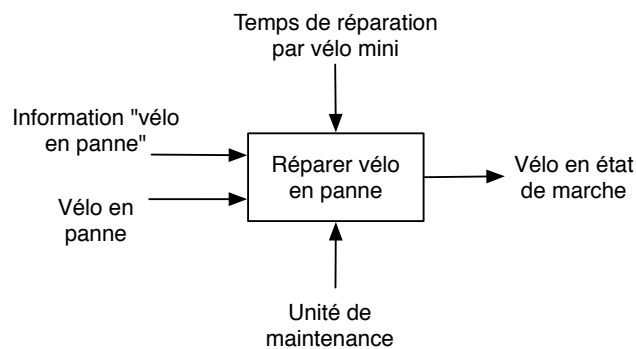


FIG. 3.15 – Données initiales du scénario de fonctionnement pour réparer une panne

3.3.3.2 Exemple d'un scénario de fonctionnement pour réparer les vélos en panne

Envisageons le fonctionnement du système pour réparer un vélo en panne. Pour cela, nous mettons en avant un scénario de fonctionnement relatif à l'activité "réparer le vélo". Le scénario de fonctionnement a la même sémantique que le scénario d'utilisation. On retrouve les notions d'activité, de solutions techniques, de contraintes et les données d'entrée et de sortie. Dans ce scénario de fonctionnement, le concepteur peut envisager plusieurs cas : par exemple, la maintenance est faite sur site si la panne n'est pas trop importante sinon le vélo est réparé dans un atelier dédié. Comme pour les scénarios d'utilisation, différentes alternatives de solutions peuvent être identifiées. Il sera donc nécessaire durant ce processus de conception d'évaluer les alternatives de solutions et de scénarios. L'objectif est d'évaluer les performances d'un système en fonction des éléments mis en jeu et de leur organisation.

Une fois ce scénario de fonctionnement détaillé, un ensemble d'éléments est détaillé, mais les liens entre ces différents éléments ne sont pas faits. Afin de les lier, il est donc nécessaire de faire une modélisation interne du système. Pour cela, le bloc diagramme fonctionnel est utilisé.

3.3.4 Bilan

Dans le cadre de la conception des systèmes produits-services, l'utilisation des scénarios est essentiel. En effet, les scénarios d'utilisation permettent au concepteur d'imaginer et prévoir des utilisations, des interactions qui se produisent entre le client et le système. Ces interactions sont "traduites" sous forme d'activités qui sont elles-mêmes supportées par des solutions techniques. Les scénarios de fonctionnement sont quant à eux nécessaires pour décrire le fonctionnement interne du système. Dans les méthodologies étudiées, les scénarios étaient utilisés pour décrire les actions faites par le client pour utiliser le système. Nous proposons également d'étudier les scénarios de fonctionnement pour faire émerger les activités interne qui devaient être réalisées par les éléments du système pour répondre à une fonction technique. Nous avons également montré que la représentation interne du système permettait de détailler les organisations entre les éléments et permettait ainsi aux concepteurs de représenter les relations entre les éléments du système.

3.4 Méthodologie proposée pour la conception des systèmes produits-services

Notre démarche illustrée dans la figure 3.16, part d'une analyse des besoins du client afin de faire émerger les fonctions de service du système. Ces fonctions de services sont identifiées à partir de la représentation du système dans son environnement. La première étape dans la méthodologie que nous proposons doit amener le concepteur à détailler les fonctions externes (ou fonctions de service) attendues du système par le client. Cette première étape ne diffère guère d'une démarche de conception classique. Néanmoins, cette vue système est nécessaire pour ne pas se focaliser dès le début de la conception vers tel ou tel principe de solution. Le concepteur voit le système dans son ensemble afin d'identifier les fonctions de service à fournir aux clients et divers milieux extérieurs (voir partie 3.4.1). Cette élicitation des fonctions de service est ensuite suivie d'une caractérisation avec des critères, niveaux et flexibilité associés aux fonctions d'interactions et fonctions d'adaptation.

La suite de la méthodologie est basée sur une complémentarité entre approche par des fonctions spécifiques SPS que nous avons identifiées "communes" à n'importe quel système produits-services (voir partie 3.4.2 et une approche par les activités. L'approche par les activités va décrire les interactions qui sont faites entre le client et le système grâce aux scénarios d'utilisation (voir partie 3.4.3). L'homogénéisation des couples fonctions techniques/solutions provenant de l'approche par les fonctions et de l'approche par les activités sera faite par l'intermédiaire d'un diagramme FAST (voir partie 3.4.4).

A partir de ces grands principes de solution, une première représentation interne du système peut être faite (voir partie 3.4.5). Différents scénarios de fonctionnement peuvent alors être envisagés pour répondre aux fonctions techniques (voir partie 3.4.6). Ces scénarios de fonctionnement permettent de développer les éléments impliqués dans le système et d'enrichir la modélisation interne. A partir des modélisations internes du système, l'extraction d'un élément, et en particulier d'un objet physique peut être faite afin de passer à la conception détaillée de celui-ci. Durant l'ensemble du processus de conception, une évaluation du système est réalisée afin de vérifier que les éléments du système et l'organisation entre ces éléments permettent de respecter les critères externes du système.

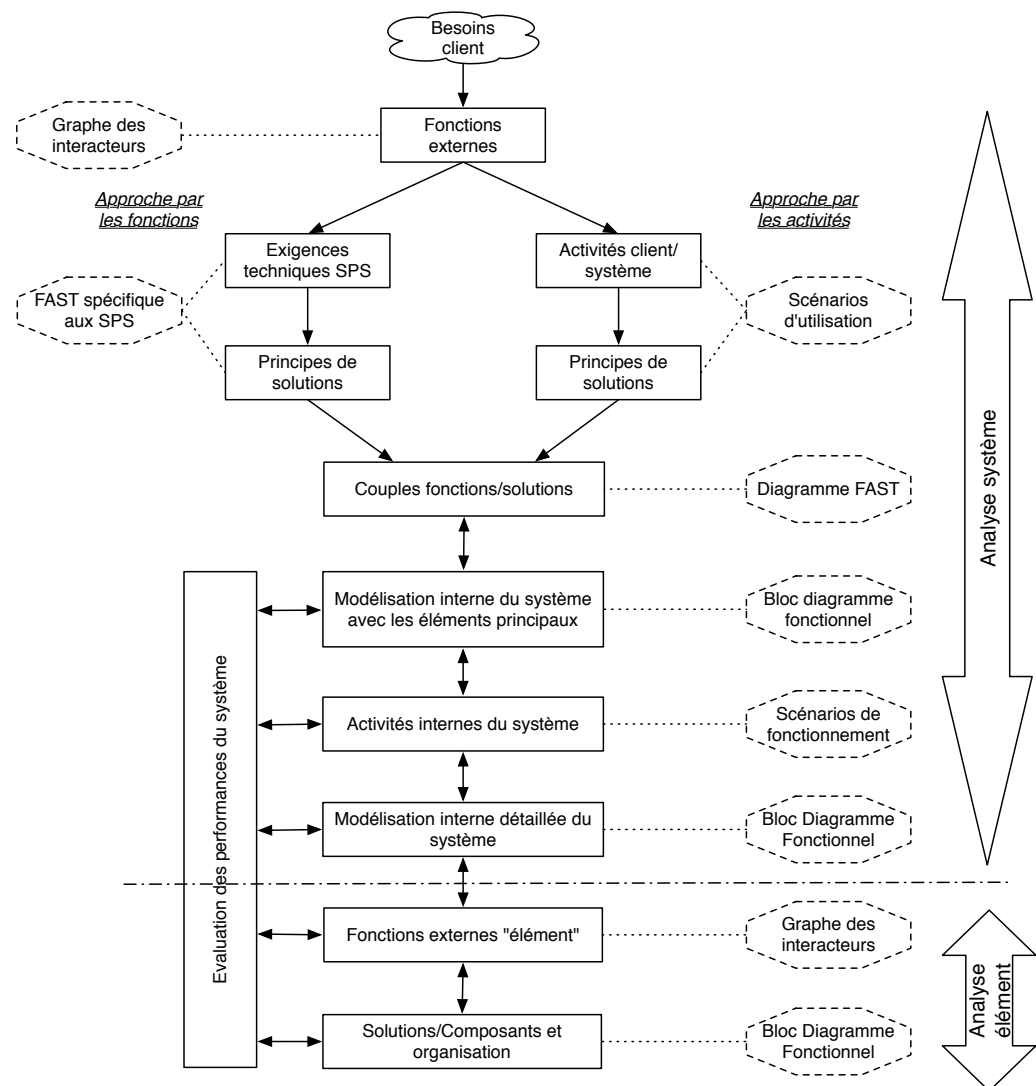


FIG. 3.16 – Méthodologie de conception des systèmes produits-services

3.4.1 Les fonctions de service

Les fonctions de service sont identifiées par l'intermédiaire du graphe des interacteurs. Dans le cadre de la conception des systèmes produits-services, nous avançons qu'il est nécessaire de mettre en avant des fonctions relatives au respect des normes environnementales ainsi que de respecter la charte du développement durable de l'entreprise. En effet, l'économie de service et les SPS ont vocation à diminuer les impacts sur l'environnement tout en

garantissant la satisfaction du client.

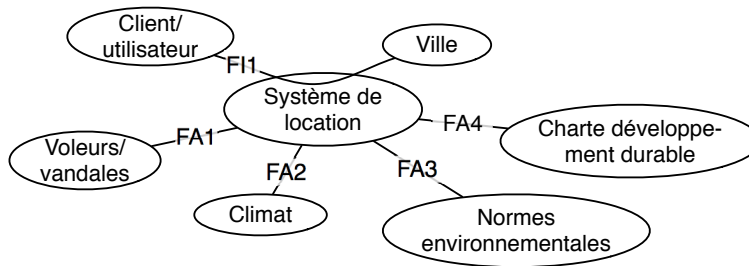


FIG. 3.17 – Graphe des interacteurs du système Vélo'v

Par rapport au graphe des intérateurs présentés dans la figure 3.8, nous proposons donc de rajouter les fonctions d'adaptation "le système doit respecter les normes environnementales en vigueur" ainsi que "le système doit respecter la charte développement durable de l'entreprise". Par conséquent, le graphe des interacteurs présenté dans la figure 3.17 intègre les fonctions de service suivantes :

- FI1 : le système permet au client de se déplacer en ville
- FA1 : le système doit résister aux vandales et voleurs
- FA2 : le système doit résister au climat
- FA3 : le système doit respecter les normes environnementales en vigueur
- FA4 : le système doit respecter la charte développement durable de l'entreprise

Dans le processus de conception, ces fonctions doivent ensuite être caractérisées. Cette caractérisation permet de préciser les critères externes du système qui serviront de base à l'évaluation des solutions en cours de conception. Ce point sera détaillé dans la partie 3.5.

3.4.2 Les fonctions spécifiques aux systèmes produits-services

Dans la démarche de conception des systèmes produits-services proposée, nous couplons l'approche par les fonctions à l'approche par les activités. L'approche par les fonctions est utilisée pour définir les premiers principes de solutions à partir de fonctions spécifiques aux systèmes produits-services. Ces fonctions spécifiques sont groupés en 3 points comme le montre la figure 3.18. L'objectif est d'amener le concepteur à s'interroger sur un certain nombre de fonctions techniques "de base" que l'on peut retrouver dans les SPS et

d'envisager des principes de solutions. Ces 3 groupes sont :

1. Etre disponible : pour cela il est nécessaire d'assurer le bon fonctionnement, de stocker les objets physiques utilisés par le client et d'assurer l'approvisionnement du système en objets physiques et consommables.
2. Etre accessible au client : le service doit ainsi être proche du client (implantation des stations dans le cadre du système Vélo'v, être facile d'utilisation, il est également nécessaire d'aider le client en cas de problème et de le former à utiliser "correctement" le service.
3. Etre facilement réparable : ici, des fonctions techniques telles que faciliter le démontage et remontage ainsi qu'être modulable sont des pistes à explorer lors de la conception du système.

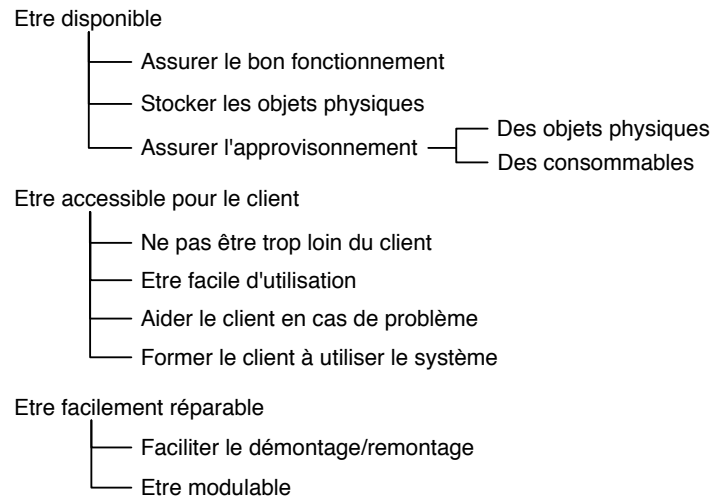


FIG. 3.18 – Les fonctions spécifiques à étudier dans le cadre du développement des systèmes produits-services

Ainsi, pour chacune de ces fonctions techniques, le concepteur peut envisager différents principes de solution (objets physiques ou unités de service). Dans cette émergence de solutions, les éléments ne sont pas détaillés. Il s'agit juste de proposer des possibilités de solutions pour les fonctions.

Ces fonctions techniques spécifiques aux SPS peuvent être appliquées au système Vélo'v. Pour certaines de ces fonctions, des couples de solutions peuvent être envisagés comme le montre la figure 3.19. Dans le cadre de la fonction assurer le bon fonctionnement, on aura par exemple une unité de maintenance qui sera en charge de réparer les vélos et les stations. Pour as-

sur l'approvisionnement des objets physiques, c'est-à-dire garantir que des vélos seront présents dans les stations, une unité de régulation est employée.

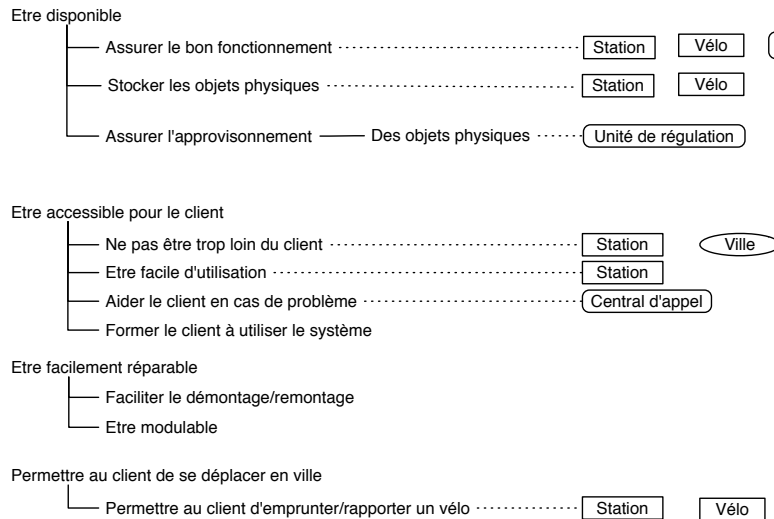


FIG. 3.19 – Les principes de solutions envisagés dans le cadre des fonctions spécifiques SPS

En complémentarité de cette approche, nous proposons de détailler les activités externes faites par le client afin d'envisager différentes interactions possibles entre le système et le client à travers différents scénarios d'utilisation.

3.4.3 Les scénarios d'utilisation

Pour illustrer l'apport des scénarios d'utilisation dans le cadre de l'émergence de principes de solutions, nous décrivons le scénario dans lequel le client emprunte un vélo. Ce scénario décrit figure 3.20, fait apparaître des éléments supplémentaires étoffant ainsi les fonctions identifiées dans l'approche par les fonctions.

Comparativement au FAST spécifique détaillé dans la figure 3.19, ce scénario d'utilisation fait apparaître des éléments supplémentaires participant aux fonctions techniques du système. Ainsi, l'objet physique "station" est composé de 2 éléments qui sont le terminal permettant au client de s'identifier et de choisir un vélo, mais également une borne qui assure le stockage des vélos. L'ensemble des fonctions techniques identifiées par les 2 approches sont regroupées dans un diagramme FAST.

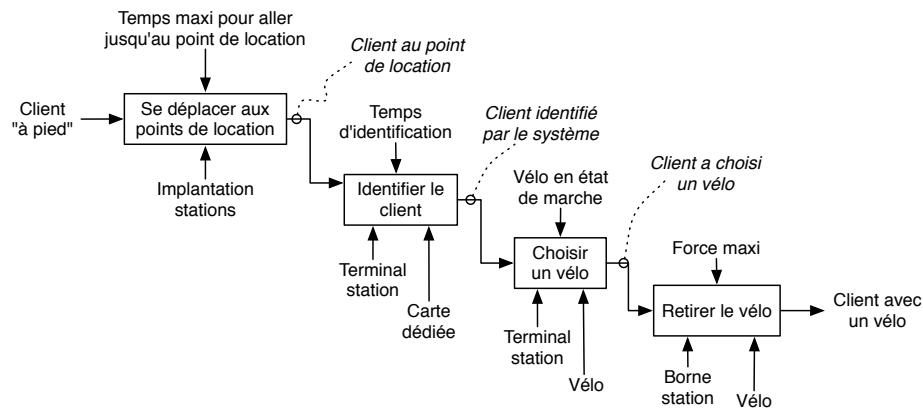


FIG. 3.20 – Scénario d'utilisation pour la sous-phase "Emprunter un vélo"

3.4.4 Classification des fonctions techniques et des principes de solutions

A la fois l'approche par les fonctions, mais également l'approche par les solutions permet de conduire à différents principes de solutions. Avant de partir sur une conception plus détaillée du système, il est nécessaire pour le concepteur de faire le bilan de l'ensemble des propositions, d'examiner leur compatibilité et d'identifier leur niveau d'importance. Pour la compatibilité, nous utilisons des scénarios de fonctionnement et l'ensemble est représenté dans le bloc diagramme fonctionnel par l'intermédiaire des boucles de conception.

La description du scénario d'utilisation de la figure 3.20 permet donc d'ajouter des éléments supplémentaires dans le FAST qui avait été réalisé dans l'approche par les fonctions (voir partie 3.4.2). L'ensemble des solutions est regroupé dans la figure 3.21.

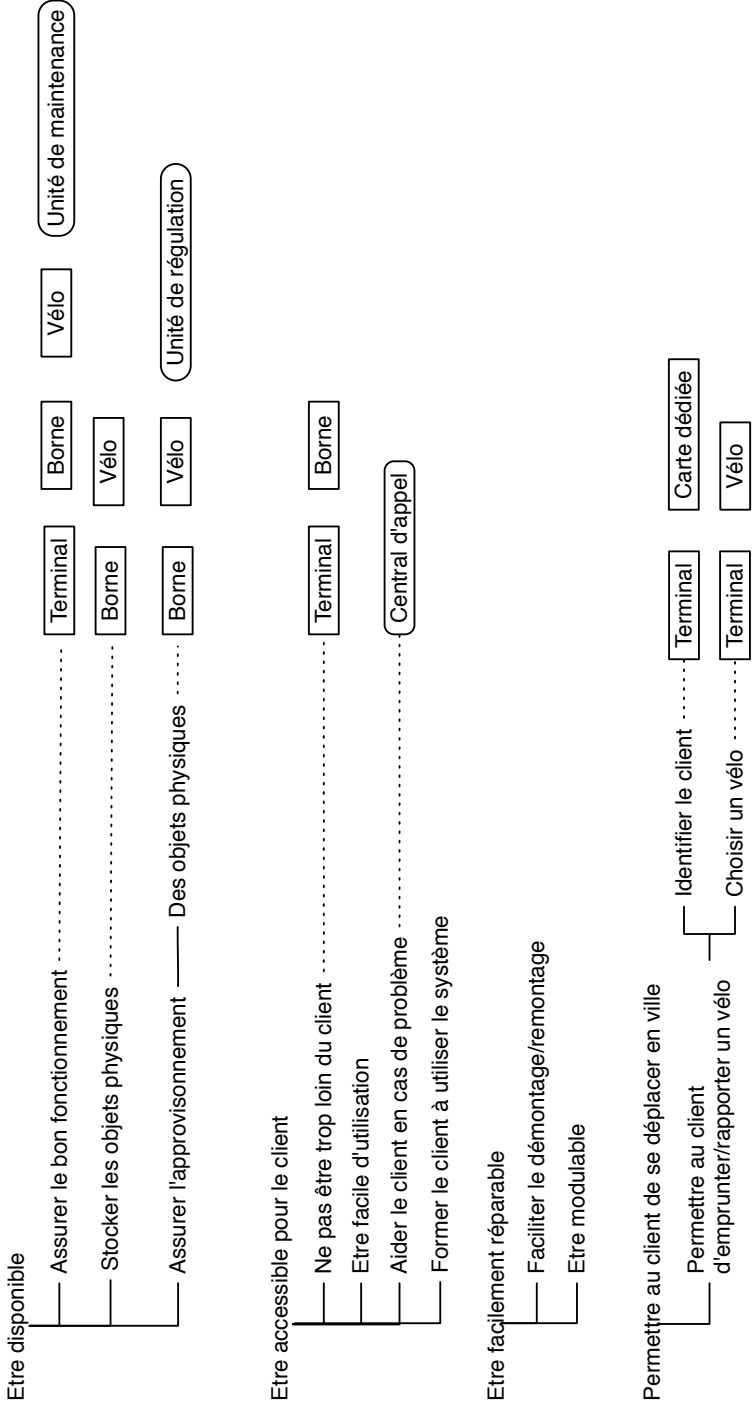


FIG. 3.21 – Hiérarchisation des fonctions techniques du système Vélo’v

3.4.5 Modélisation interne du système avec les premiers éléments de solution

Les premiers éléments qui sont apparus lors de l'approche par les fonctions et les activités ont été représentés par l'intermédiaire du bloc diagramme fonctionnel (voir figure 3.22). Nous retrouvons les objets physiques et unités de service identifiés précédemment. Les fonctions techniques du système sont réalisées par les éléments et c'est l'organisation entre ces éléments qui permet de tracer les boucles de conception. Par exemple, la fonction technique "choisir un vélo" faisait apparaître les éléments terminal et vélo, mais la boucle de conception passera bien par le client qui utilisera le terminal pour choisir un vélo qui sera libérée par la borne stockant le vélo.

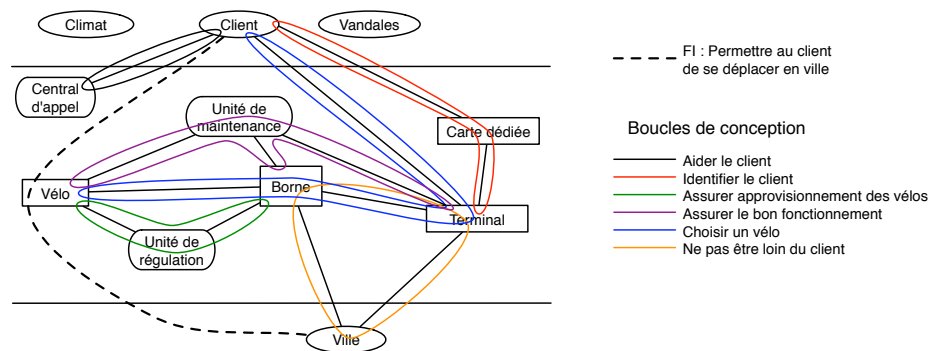


FIG. 3.22 – Modélisation interne du système avec les premiers éléments

Chacune des fonctions techniques identifiée dans le FAST de la figure 3.21 est tracée dans une boucle de conception. Concernant les fonctions "assurer le bon fonctionnement" et "assurer l'approvisionnement des objets physiques", elles peuvent être étoffées à partir des scénarios de fonctionnement étant donné que ce sont des fonctions liées au fonctionnement du système. Pour détailler les éléments impliqués au sein du système, nous allons utiliser les scénarios de fonctionnement.

3.4.6 Détail des éléments de solutions et organisation entre ces éléments

Afin de détailler les différents éléments impliqués dans le système, il est nécessaire de définir le rôle de chacun des éléments mais également de voir les interactions qui existent entre ces éléments. Nous établissons ce détail via la description des activités internes réalisées par le système. Pour cela,

nous nous appuyons sur la mise en place de scénarios de fonctionnement. Ces scénarios permettent de décrire l'enchaînement des activités faites au sein de ce système pour répondre à une fonction particulière (voir figure 3.23).

L'élément qui est développé par l'intermédiaire de ce scénario est l'unité de maintenance. Lors de l'élicitation des fonctions de base du SPS, l'unité de maintenance a été envisagée pour assurer le bon fonctionnement des objets physiques du système. Lors de la description de ce scénario de fonctionnement, les différentes activités apparaissant dans ce scénario vont être supportées par des solutions techniques. Ces solutions techniques, qui peuvent être des objets physiques ou des personnes, seront donc impliqués dans l'unité de service. Par conséquent, les scénarios de fonctionnement vont permettre aux concepteurs d'étoffer les différents éléments du système.

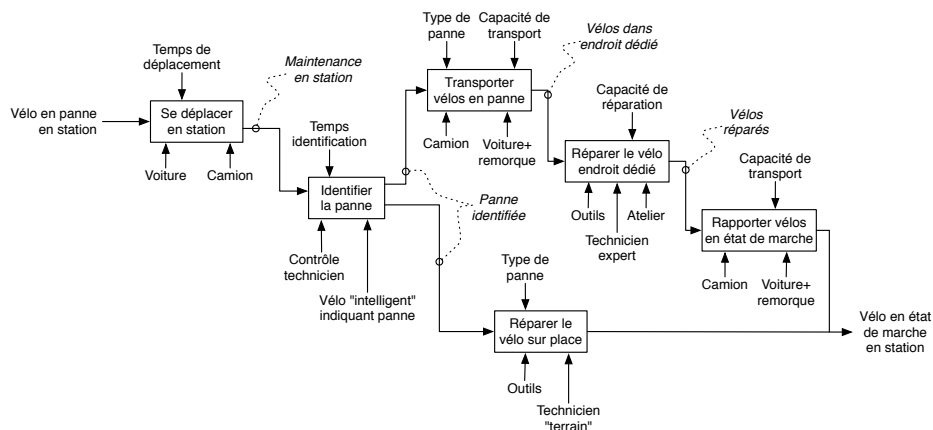


FIG. 3.23 – Exemple d'un scénario de fonctionnement pour réparer

A la suite de ce scénario, l'unité de maintenance se voit composée des éléments suivants :

- des techniciens intervenant sur site ;
- de véhicules pour se déplacer (voiture ou camion) ;
- d'un atelier dédié pour effectuer les opérations de maintenance ;
- de techniciens intervenant dans l'atelier ;
- d'outils.

Par exemple, pour transporter un objet d'un point A à un point B, un camion est utilisé. De plus, un chauffeur et l'objet à transporter sont impliqués dans cette activité. Nous représentons les différents éléments impliqués dans le système dans le Bloc Diagramme Fonctionnel (BDF) et traçons les boucles de conception. C'est ainsi que nous pouvons visualiser l'architecture

du système supportant l'organisation décrite dans les scénarios. Il est tout à fait possible pour un même ensemble de principes de solutions d'envisager différentes organisations. Chaque scénario décrit une organisation particulière.

Un bloc diagramme associé au scénario décrit dans la figure 3.23 est réalisé dans la figure 3.24. Ce BDF est issu de la modélisation interne faite avec les premiers éléments de solution que nous avons présenté dans la partie 3.4.5 figure 3.22. Par soucis de clarté, nous ne mettons pas dans cette figure les autres boucles de conception du système.

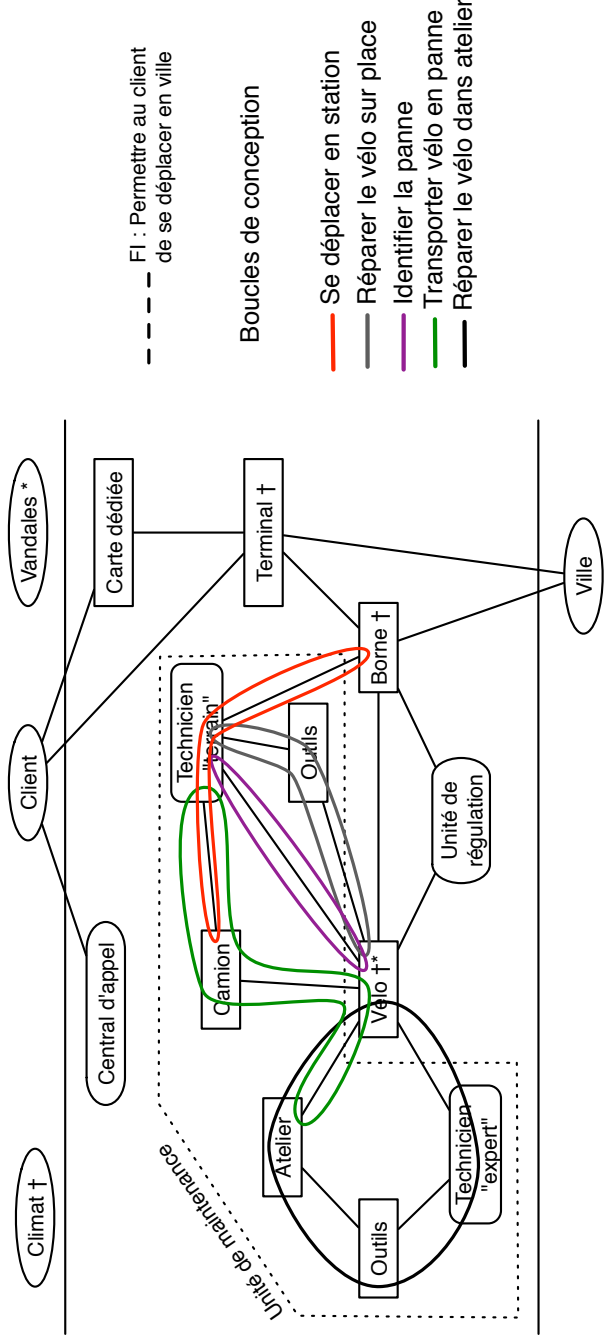


FIG. 3.24 – Bloc diagramme fonctionnel pour le scénario de fonctionnement envisagé figure 3.23

La représentation faite par le BDF permet aux concepteurs de schématiser les éléments qui sont impliqués dans une fonction technique. Ainsi, pour chaque boucle de conception, il sera nécessaire de faire une distribution des contraintes, c'est-à-dire choisir entre les objets physiques ou les unités de service qui permettent de satisfaire tel ou tel critère de valeur. Il est alors nécessaire d'évaluer les performances de différents systèmes+organisation comme nous allons le voir dans la partie suivante.

3.4.7 Discussions

3.4.7.1 Lien entre la modélisation interne et les scénarios de fonctionnement

La modélisation interne du système est réalisée dès l'instant que les premiers éléments du système sont identifiés dans le but de faire apparaître les liens et l'organisation entre ces différents éléments par l'intermédiaire des boucles de conception. La figure 3.24 décrit les boucles de conception issues des activités du scénario décrit dans la figure 3.23. Les boucles de conception détaillées sur le BDF témoignent ainsi du choix de conception des éléments et d'organisation réalisés. Elles supportent les fonctions techniques identifiées et les scénarios associés. Prenons l'exemple de la fonction technique réparer le vélo dans un atelier. L'activité relative à cette fonction technique décrite dans le scénario, est supportée par des outils et un technicien "expert". Le choix fait au niveau de la boucle de conception est d'inclure dans cette fonction technique l'élément atelier. Même si l'atelier n'est pas l'élément qui réalise cette activité, il a été choisi de l'inclure dans la fonction technique. On a donc un lien entre les éléments atelier, vélo, outils et technicien "expert". Cela permettra par exemple de tenir compte de l'espace disponible dans l'atelier pour savoir combien de vélos peuvent être stockés puis réparés.

3.4.7.2 Couplage entre les scénarios d'utilisation et de fonctionnement

Dans le cas étudié, les scénarios d'utilisation et les scénarios de fonctionnement sont couplés. C'est notamment le cas dans le cadre de la maintenance. Nous n'avons pas discuté dans le scénario de fonctionnement précédent de l'information qui était délivrée permettant ainsi à l'unité de maintenance d'intervenir. Dans la description du scénario de la figure 3.25, le scénario d'utilisation dans lequel le client ramène le vélo puis déclare la panne à la station, est ainsi couplé au scénario de fonctionnement dans lequel les activités de l'unité de maintenance sont décrites. Les éléments réalisant le couplage

entre ces 2 scénarios sont l'"information de vélo en panne" nécessaire pour que l'équipe se déplace sur site pour effectuer les réparations nécessaires, mais également le "vélo en panne bloqué en station" qui sera nécessaire à l'unité de maintenance pour effectuer les réparations sur le vélo.

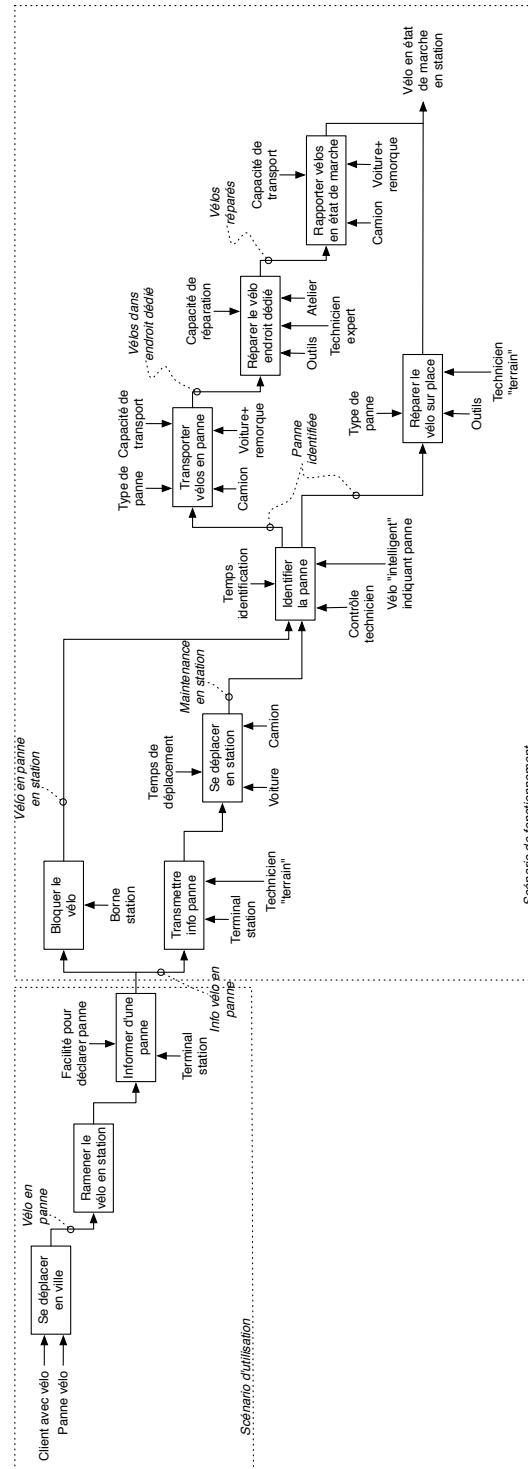


FIG. 3.25 – Liens entre les données internes du scénario d'utilisation et le scénario de fonctionnement

3.5 Evaluation des solutions en cours de conception

L'objectif de la phase d'évaluation est d'estimer les paramètres des solutions envisagées afin de répondre aux critères externes requis du système. Ces paramètres peuvent porter sur les objets physiques, les unités de service mais également sur le système dans sa globalité. Dans cette démarche, nous nous plaçons définitivement dans une approche multi-critères. Des critères environnementaux, économiques, de disponibilité, etc., doivent être envisagés pour juger de la performance du système.

3.5.1 Quelles évaluations pour les systèmes produits-services ?

3.5.1.1 L'analyse du cycle de vie

L'analyse du Cycle de Vie est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux d'un produit ou d'un processus sur l'ensemble de son cycle de vie. Cette analyse est normalisée avec la série des normes ISO-14040. Cette analyse, souvent réalisée par des environnementalistes, ne peut se faire de manière complète qu'une fois le système complètement défini. Pour cela, quatre phases sont définies (voir figure 3.26) :

1. Objectifs et champs de l'étude
2. Analyse de l'inventaire du cycle de vie
3. Evaluation des impacts du cycle de vie
4. Interprétation des résultats

De plus, cette analyse a pour but de déterminer les conséquences sur l'environnement de l'utilisation d'un produit. Mais cette analyse peut être conduite suivant deux méthodes :

- Une méthode orientée problèmes : cette méthode a pour but de quantifier les impacts de premier ordre (émissions de CFC, etc...),
- Une méthode orientée dommages : l'objectif de cette méthode est d'identifier les impacts de second ordre (cancers, etc...).

Dans le cadre d'un processus de conception, les ACV ne sont pas forcément compatibles avec les données manipulées par les concepteurs (Millet *et al.*, 2007). Pour cela, il est nécessaire de donner des indicateurs fiables et interprétables par les concepteurs sur ces impacts. Gehin (2008) met en avant le principe de "briques de cycle" de vie. La démarche employée permet de quantifier dès la conception d'un produit, son impact suivant les types de cycle de vie qui sont envisagés. Dans l'évaluation que nous souhaitons mettre

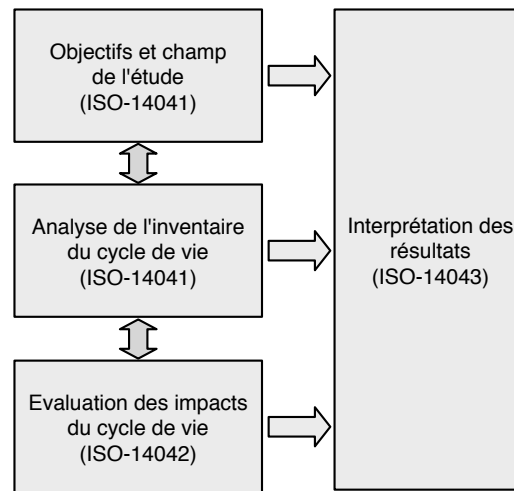


FIG. 3.26 – Les grandes phases de l'Analyse de Cycle de Vie

en place, une démarche d'ACV n'est pas compatible avec une évaluation dès les phases amont de la conception étant donné que cela nécessite d'avoir des données très précises sur les objets physiques impliqués dans ces systèmes.

3.5.1.2 Les systèmes produits-services soutenables

La mise en place d'une économie de services est fondée sur la nécessité de découpler les impacts sur l'environnement de l'économie. L'objectif est donc d'avoir la même qualité de vie, voire une qualité de vie meilleure, tout en diminuant les charges que fait peser notre consommation sur l'environnement. Le développement durable est donc un élément moteur dans le développement des SPS. Lors de la conception de ces systèmes, il est alors nécessaire d'évaluer ces systèmes d'un point de vue économique, environnemental et social. Dans la partie 2.2.4.2, Maxwell et van der Vorst traitent du développement des SPS soutenables dans le but d'avoir une production et une consommation (que ce soit de produits ou de services) plus soutenables. Dans le cadre de notre démarche de conception, nous souhaitons évaluer à la fois les organisations de systèmes produits-services, mais également les objets inclus dans ces systèmes. Du point de vue du développement durable, il est donc nécessaire de décrire des critères économiques, environnementaux et sociaux. Halme *et al.* (2006) définissent un ensemble de critères économiques, sociaux et environnementaux dans le but d'évaluer des solutions techniques par rapport au développement durable (voir tableau 3.1). Dans la méthodo-

Environnement	Social	Economique
Utilisation de matériel	Equité	Emploi
Utilisation d'énergie	Santé	Situation financière des clients
Utilisation d'eau	Sûreté et sécurité	Produits et services régionaux
Emissions	Confort	Profitabilité de l'entreprise
Utilisation d'espace	Contacts sociaux	Profitabilité de la région/communauté
Déchets	Autonomisation	
	Information et prise de conscience	

TAB. 3.1 – Indicateurs de soutenabilité

logie que nous proposons, nous avançons qu'il est nécessaire de mettre des critères "développement durable" durant la phase de conception. Cela est réalisé par l'intermédiaire du graphe des interacteurs en prenant en compte les objectifs développement durable de l'entreprise. Ainsi, lors de la caractérisation de cette fonction, le concepteur aura des critères externes associés au développement durable qui devront être pris en compte lors de l'évaluation.

3.5.2 Evaluation du système par les boucles de conception

La méthodologie de conception que nous mettons en place permet de passer d'une analyse système vers une analyse plus détaillée des objets physiques et unités de service impliqués dans ces systèmes. Par cette approche descendante, le but est de garder les liens entre les différents éléments impliqués dans le système au cours de leur développement détaillé. En gardant les liens entre les éléments, il est alors possible de tenir compte de contraintes dues aux éléments en relation. Les liens entre les éléments sont également dus à la mise en place d'une organisation spécifique pour répondre à une fonction technique. Pour une même organisation d'éléments, il est alors possible pour le concepteur de mettre plus l'accent sur un élément en particulier : par exemple, développer plus le côté produit que le côté service d'une fonction, par exemple développer plus un guide interactif pour aider un client plutôt que de développer un service téléphonique qui répondra à ses questions. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer le système dans son ensemble. Pour

	Critères externes		
	Coût	Disponibilité	Consommation NRJ
BC1	X		X
BC2	X	X	
BC3			X

TAB. 3.2 – Liens entre les boucles de conception et les critères externes du système

réaliser cette évaluation, nous proposons de comparer non pas les éléments du produit mais les choix (ou boucles) de conception relatifs aux fonctions techniques. L'objectif est à la fois d'évaluer les éléments impliqués dans le système, mais également d'évaluer les organisations entre les éléments (i.e. pour une même fonction technique, regarder la manière dont les éléments sont liés pour réaliser la fonction).

Pour chacune des boucles de conception étudiée, le concepteur doit se poser la question de l'impact de la boucle sur les critères externes détaillés lors de la caractérisation des fonctions provenant de l'analyse externe du système. Pour réaliser cette relation, nous proposons de mettre en place un tableau dans lequel les boucles de conception, ainsi que les critères externes apparaissent. Comme illustré dans le tableau 3.2, les boucles de conception sont identifiées sur les lignes, alors que les critères externes sont classés par colonne. Nous proposons de mettre dans un premier temps les relations entre les boucles de conception et les critères externes par l'intermédiaire de "X". Si l'on étudie par exemple la boucle de conception 1 (BC1 dans le tableau), le concepteur estime cette boucle a une influence sur le coût et la consommation d'énergie puisque des "X" apparaissent. Chacune des boucles est ainsi étudiée selon les impacts possibles qu'elle a sur les critères externes. Si l'on regarde maintenant les différents critères, cette représentation par colonne permet au concepteur de voir quelles sont les boucles qui ont une influence directe sur le critère. Regardant le critère externe "consommation d'énergie", on identifie alors que les boucles de conception BC1 et BC3 sont celles qui vont consommer de l'énergie dans le système. Pour réaliser l'évaluation du système par rapport à ce critère, on peut alors écrire que :

$$\text{Consommation énergie} = f(\text{BC1}, \text{BC3})$$

Pour faire une évaluation approfondie du système, il est nécessaire de connaître les principes de solutions utilisés dans les boucles de conception. Ce tableau sera donc enrichi au fur et à mesure de l'approfondissement du

processus de conception, et en particulier lors de la description de scénarios de fonctionnement. Nous illustrons ce propos à l'aide de l'étude de la boucle de conception "réparer les vélos" du système Vélo'v.

Dans le cadre du système Vélo'v, les boucles de conception ont été identifiées dans le bloc diagramme fonctionnel de la figure 3.22 et sont mises en relation avec les critères externes du système. Nous n'avons volontairement pas mis l'ensemble des critères externes. Nous nous sommes uniquement focalisés sur certains critères tels que le coût, la disponibilité du service et des critères environnementaux. L'idée dans cette partie étant de montrer le fonctionnement de ce tableau de bord et non la description complète et exhaustive du cas Vélo'v. Le tableau de bord partiel est donc détaillé dans la figure 3.27.

		Critères externes							
		Coût	Disponibilité	Recyclabilité	DEEE	Consommation NRJ	Production déchets	Emissions	Accessibilité
Boucles de conception	Solutions								
Assurer le bon fonctionnement	Vélos		X	X					
	Borne	X		X					
	Unité de maintenance		X			X		X	
Assurer l'approvisionnement des vélos	Vélos		X	X					
	Unité de régulation		X			X		X	
	Borne		X						
Ne pas être loin du client	Terminal								X
	Borne								X
Aider le client en cas de panne	Central d'appels								X
Choisir un vélo	Vélo	X		X					
	Terminal	X		X					
Identifier le client	Terminal	X		X					
	Carte dédiée	X			X		X		

FIG. 3.27 – Tableau de bord partiel du cas Vélo'v

3.5.3 Evaluation d'une boucle la boucle de conception "Réparer les vélos"

Dans le cadre de cette boucle de conception, nous allons comparer 2 fonctionnements assurant la réparation des vélos. Le premier scénario est basé sur une maintenance pouvant être réalisée soit sur directement dans les

stations, soit dans un atelier si la panne du vélo est trop importante. Dans le 2^{ème} scénario, toutes les réparations sont effectuées sur site.

3.5.3.1 Scénario 1

Nous reprenons ici le scénario de fonctionnement détaillé dans la partie 3.4.6. Le bloc diagramme fonctionnel détaillé à la suite de ce scénario (voir figure 3.24 page 103) fait apparaître les éléments suivants :

- un camion pour permettre au technicien de se déplacer jusque la station ;
- un technicien "terrain" ;
- un atelier dans lequel les vélos sont réparés ;
- un technicien "atelier" effectuant les réparations des vélos dans l'atelier ;
- des outils.

Chacun de ces éléments peut donc être mis dans le tableau de bord qui a été commencé dans la partie 3.5.2. Le tableau de bord détaillé (voir figure 3.28) fait apparaître les éléments impliqués dans les boucles de conception.

Boucles de conception			Critères externes						
			Coût	Disponibilité	Recyclabilité	DEEE	Consommation NRJ	Production déchets	Emissions
Assurer le bon fonctionnement	Vélos	Fiabilité		X	X				
		Durée de vie		X					
		Nb vélo		X					
		Coût vélo	X						
	Borne		X	X					
	Outils		X	X					
	Technicien expert	Nb technicien		X			X		
		Temps pour réparer		X					
		Salaire	X						
	Technicien terrain	Nb technicien		X			X		
		Temps pour réparer		X					
		Salaire	X						
	Camion	Consommation					X		
		Capacité transport		X					
		Emissions/km							X
	Atelier	Capacité	X				X		

FIG. 3.28 – Tableau de bord pour le scénario 1

En étudiant chacun des éléments et au regard des activités qui sont faites par cet élément, il est alors possible de voir les impacts sur les critères externes. Si l'on se focalise sur l'élément camion, cet objet est impliqué dans la boucle de conception afin de permettre au technicien "terrain" de se déplacer jusque la station où se trouve le vélo à réparer, mais également pour transporter les vélos cassés vers l'atelier de réparation. Par conséquent, cet objet aura une influence sur le critère externe de consommation d'énergie ainsi que sur la production d'émissions lors du transport. Au regard du critère "disponibilité", le concepteur est capable à partir de ce tableau de connaître les paramètres influençant ce critère. Ainsi, des relations entre le critère externe et des paramètres de solution sont identifiés et peuvent être mis sous la forme suivante :

Disponibilité=f(Fiabilité vélo, durée de vie vélo, nb de vélo, nb de technicien expert et terrain, temps pour réparer sur le terrain et en atelier, capacité de transport, capacité de l'atelier)

Ainsi, l'évaluation de la disponibilité est fonction de paramètres objets (fiabilité du vélo, durée de vie vélo, etc.), de paramètres unité de service (nb de technicien, temps pour réparer, etc.) et de paramètres système (nb de vélos). Ceci montre bien que l'évaluation de ces systèmes est complexe de par le grand nombre de paramètres divers entrant en compte. Il est également nécessaire de faire participer les concepteurs des différents éléments afin de juger de la faisabilité d'une solution. Par exemple, si l'évaluation conduit à la devoir concevoir un vélo à 99,99% de fiabilité, il sera alors nécessaire de rediscuter avec le concepteur de l'unité de maintenance pour augmenter le nombre de techniciens.

3.5.3.2 Scénario 2

Nous allons maintenant détailler un 2^{ème} scénario dans lequel la réparation des vélos se fait directement sur site par le technicien. Pour ce scénario, détaillé figure 3.29, l'unité de maintenance est alors "uniquement" composée de techniciens, d'outils et de véhicules pour se déplacer. Les solutions envisagées pour se déplacer peuvent d'ailleurs être différentes (e.g. scooter, voiture, camion). Ces différentes alternatives ont un impact sur les critères externes (e.g. consommation d'énergie, émissions, etc.). Une fois sur site, le technicien consulte la station pour voir les vélos qui sont en panne. Ensuite, il procède au diagnostic avant d'effectuer la réparation.

A partir de ce scénario, le bloc diagramme est tracé dans la figure 3.30.

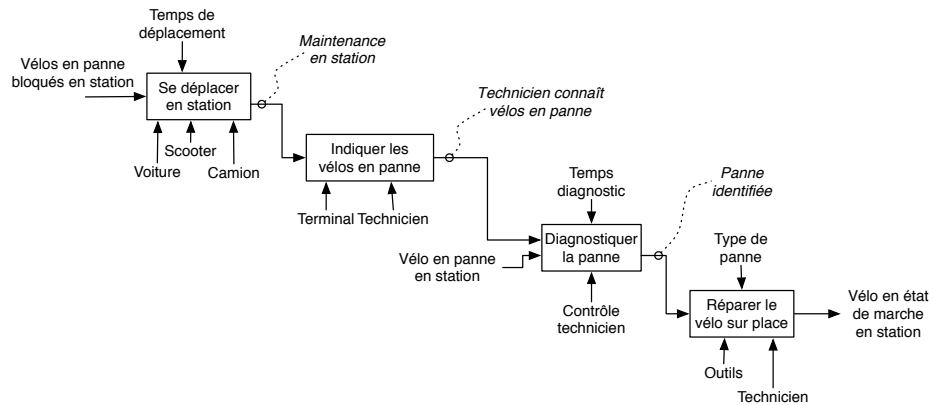


FIG. 3.29 – Alternative de scénario pour effectuer les réparations des vélos

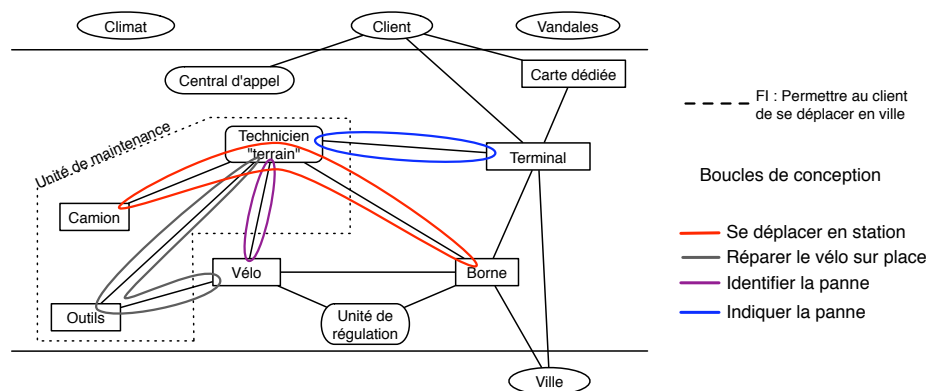


FIG. 3.30 – Bloc diagramme fonctionnel dans le cas d'une maintenance faite entièrement sur place

Le tableau de bord qui peut être fait à partir de ce fonctionnement va mettre en relation les éléments identifiés avec les critères externes. Ce tableau de bord est représenté dans la figure 3.31. Si nous regardons le critère externe de disponibilité, celui-ci n'est plus fonction que de :

$$\text{Disponibilité} = f(\text{Fiabilité vélo}, \text{durée de vie vélo}, \text{nb de vélo}, \text{nb de technicien}, \text{temps pour réparer})$$

Le concepteur doit donc trouver le meilleur compromis entre les paramètres des objets physiques, des unités de service et du système pour réussir à tenir le critère externe de disponibilité. Par rapport au 1^{er} scénario envi-

sagé, les émissions seront certainement moins importantes étant donné qu'il n'y aura pas de déplacement vers l'atelier de réparation. Néanmoins, étant donné que l'ensemble des réparations se font sur le site, plus de techniciens seront employés entraînant ainsi un plus grand nombre de véhicules (à fiabilité égale du vélo). Un compromis est à faire entre un vélo très fiable ne nécessitant que peu de maintenance contre un vélo un peu moins fiable mais nécessitant des opérations de maintenance plus régulière.

			Critères externes						
Boucles de conception	Solutions		Coût	Disponibilité	Recyclabilité	DEEE	Consommation NRJ	Production déchets	Emissions
Assurer le bon fonctionnement	Vélos	Fiabilité	X	X					
		Durée de vie	X						
		Nb vélo	X						
		Coût vélo	X						
	Borne		X	X					
	Outils		X	X					
	Technicien	Nb technicien	X			X			
		Temps pour réparer	X						
		Salaire	X						
	Camion	Consommation				X			
		Capacité transport	X						
		Emissions/km							X

FIG. 3.31 – Tableau de bord pour le scénario 2

3.5.3.3 Synthèse

A partir de ces 2 scénarios, nous montrons l'importance de faire une évaluation par boucle de conception. Comme les activités réalisées au sein de ces scénarios ne sont pas les mêmes, on ne peut pas faire d'évaluation par activités. Le seul dénominateur commun à ces scénarios est donc la boucle de conception. Néanmoins, l'évaluation de ces systèmes reste complexe du fait de la multitude de paramètres à prendre en compte et de leurs relations. L'atout du tableau de bord proposé est donc de regrouper l'ensemble des paramètres à prendre en compte. L'atout du tableau de bord proposé est donc de regrouper l'ensemble de ces paramètres afin d'amener les concepteurs de l'équipe à discuter autour de ces paramètres pour respecter les critères externes.

3.5.4 De l'étude du système à l'étude du vélo

Le système Vélo'v est basé sur une maintenance se faisant sur site et en atelier pour les pannes importantes. On se trouve donc dans le cas du scénario de fonctionnement 1 dont nous avons discuté dans la partie 3.5.3.1. A partir de ce scénario et en fonction de la disponibilité requise, les paramètres tels que la fiabilité du vélo, le nombre de techniciens et le nombre de vélos impliqués dans le système ont été déterminés. Cette détermination des paramètres a ensuite conduit les concepteurs à proposer des solutions innovantes, notamment sur le vélo.

3.5.4.1 Analyse externe du vélo Vélo'v

Le vélo impliqué dans le système Vélo'v est en lien avec un certain nombre d'autres éléments du système. A partir du bloc diagramme fonctionnel de la figure 3.24 page 103, le concepteur peut extraire le vélo ainsi que les éléments qui sont en relation avec le vélo. Cette extraction donne lieu à une représentation du vélo dans son milieu environnant, comme la montre la figure 3.32.

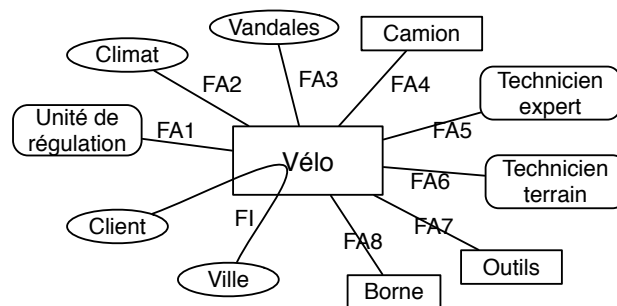
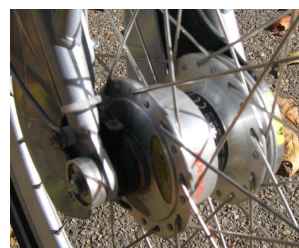


FIG. 3.32 – Graphe des interacteurs du vélo impliqué dans le système Vélo'v

Un certain nombre de fonctions d'adaptation apparaissent. Ces fonctions d'adaptation sont relatives aux liens qui sont survenus dans la modélisation interne faite du système. A partir des critères des différents milieux extérieurs, la conception du vélo a débouché sur des principes de solutions innovants permettant de garantir une fiabilité plus importante des vélos. Ces propositions de solutions sont détaillées dans les parties suivantes.

3.5.4.2 Le système de freins

Les vélos impliqués dans le système Vélo'v présentent la particularité d'être équipé d'un système de frein à tambour (voir figure 3.33). Ce choix de solutions peut trouver ses raisons dans la grande fiabilité d'un tel système. De plus, contrairement aux systèmes à patins où l'accès est assez facile pour un utilisateur malveillant, ces systèmes sont encapsulés à l'intérieur des moyeux, ce qui les rend plus difficiles, voire impossible, à manoeuvrer par l'utilisateur. Si l'évaluation faite précédemment a conclu sur une fiabilité du vélo de 95%, les composants choisis pour réaliser cet objet doivent alors permettre de garantir cette contrainte.



Frein à tambour intégré
dans le moyeu avant



Frein à patin

FIG. 3.33 – Comparaison entre le système de freinage Vélo'v (à gauche) par rapport à un système de freinage "classique"

3.5.4.3 Le système de changement de vitesses

Si l'on se penche maintenant sur les choix techniques du système de changement de vitesses, la solution retenue est elle aussi particulière par rapport à des vélos "classiques" (voir figure 3.34). En effet, l'ensemble est intégré dans le moyeu arrière. Par ce choix de conception, il y a donc moins de pièces accessibles par l'extérieur. De plus, ce système est ainsi protégé des éléments extérieurs tels que la pluie, les salissures, etc. Là encore, ce choix de solutions est plus cher qu'un système classique de changement de vitesse par cassette et dérailleur. L'évaluation et la détermination de contraintes telles que le coût, la durée de vie du vélo, sa fiabilité, etc., ont été réalisées durant la phase d'évaluation du système pour montrer que sur le coût global du système, cet investissement était pertinent.

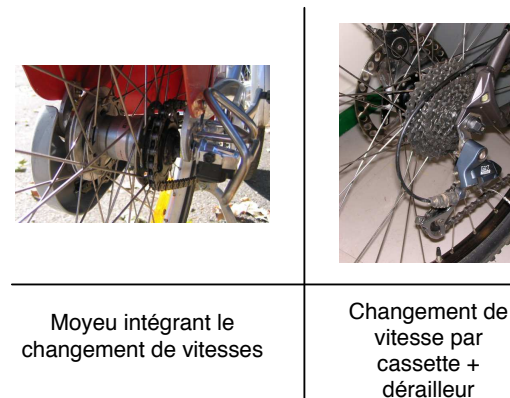


FIG. 3.34 – Comparaison entre le système de changement de vitesse Vélo'v (à gauche) par rapport à un changement de vitesse "classique"

3.6 Conclusion

Le développement des systèmes produits-services doit être fait par une analyse globale du système afin de ne pas négliger les liens existants entre les éléments impliqués dans le système. Cette analyse système doit ensuite conduire à une élicitation de paramètres de solutions dans le but de faire la conception détaillée des différents éléments du système. Dans la méthodologie que nous proposons, l'analyse du système est structurée en 4 parties :

Le détail des besoins Que ce soit les besoins client ou les besoins fonctionnels attendus du système, c'est par une analyse externe du système dans son environnement que les fonctions de service attendues du client sont identifiées. Ces fonctions qui sont ensuite caractérisées, vont permettre de définir les critères externes attendus. Ces critères externes définissent les besoins/exigences attendues du système. Ce sont ces besoins qui vont ensuite conduire aux principes de solutions et qui serviront de base pour l'évaluation des systèmes envisagés.

L'émergence des principaux éléments Un couplage entre l'approche par les fonctions et les activités est fait pour faire émerger les premiers principes de solutions. Nous avons mis en avant dans cette partie que les SPS nécessitent l'étude de fonctions techniques spécifiques relatives notamment à la disponibilité du service, l'approvisionnement, etc. En décrivant les activités faites par le client avec le système, le concepteur peut également faire apparaître de nouvelles fonctions techniques et solutions.

La modélisation interne du système A partir des principes de solution envisagés, la mise en relation de ces différents éléments est faite par l'intermédiaire du bloc diagramme fonctionnel. Ce sont les boucles de conception qui vont permettre de dessiner l'organisation mise en place entre ces éléments pour répondre à une fonction technique. De plus, ces boucles de conception doivent ensuite permettre l'évaluation du système.

La description des boucles de conception La description des activités internes du système par l'intermédiaire des scénarios de fonctionnement permet au concepteur de détailler les éléments impliqués dans les boucles de conception. En décrivant les activités nécessaires pour réaliser une fonction technique, le concepteur peut alors détailler les objets physiques ou personnes nécessaires à la réalisation de ces activités. Ce niveau de détail permet ensuite de passer à l'évaluation des solutions.

L'apport méthodologique de ce travail de recherche est une structuration entre l'analyse externe du système et son analyse interne. Cette structuration est supportée par la mise en place de scénarios. Les scénarios permettent en effet de décrire les interactions client-système mais également les activités réalisées en interne. Cette décomposition des fonctions techniques en activités permet ensuite de faire réaliser l'évaluation des solutions.

Afin d'évaluer les performances des systèmes produits-services, nous proposons de faire le lien entre les critères externes attendus du système et les paramètres de solution par l'intermédiaire d'un tableau de bord. Ce tableau de bord regroupe ainsi les paramètres des solutions envisagées pour réaliser les activités au sein des fonctions techniques du système. Nous argumentons également que l'évaluation de différents systèmes produits-services ne peut se faire que si on juge la même chose. C'est pour cela que nous réalisons l'évaluation des systèmes par les boucles de conception. Chacune des boucles de conception identifiées dans la modélisation interne du système est évaluée en fonction des objets physiques et personnel impliqués dans les différentes activités. Même si dans ce chapitre l'évaluation apparaît découplée de l'analyse qui est menée, elle est bien implémentée et réalisée en parallèle du développement du système.

Chapitre 4

Application de la méthode au projet HTS

Dans ce chapitre, nous appliquons la méthodologie proposée dans le cadre d'un projet industriel. L'objectif de ce projet est non plus de vendre des réfrigérateurs industriels au client mais de lui assurer la réfrigération des câbles assurant le transport d'électricité. Les objectifs de ce chapitre sont :

- de présenter le projet industriel et son contexte ;
 - de valider notre méthodologie en l'appliquant dans le cadre d'une conception de système produits-services.
-

4.1 Le projet *High Temperature Supraconductor* (HTS)

4.1.1 Le transport d'énergie par câbles supraconducteurs

Un client a décidé de transporter l'électricité par l'intermédiaire de câbles supraconducteurs au lieu d'utiliser des câbles traditionnels en cuivre. Ce projet nécessite de réhabiliter toutes les installations du pays. Le transport par câbles supraconducteurs permettra également d'avoir une meilleure efficacité et un meilleur rendement étant donné que les pertes sont moins importantes que celles engendrées par le transport par des câbles traditionnels. En effet, les câbles supraconducteurs permettent d'éliminer les pertes par effet Joule que l'on a dans les câbles en cuivre.

Pour garantir les propriétés supraconductrices des câbles, la température de fonctionnement doit être comprise entre 65 et 70°K. Pour cela, les câbles sont immergés dans un bain d'azote liquide dont le point d'ébullition se trouve à 77,36°K. Un réfrigérateur basé sur un mélange hélium-néon assure la réfrigération du bain d'azote liquide par l'intermédiaire d'un échangeur entre le bain d'azote liquide et un mélange hélium/néon en état liquide. L'utilisation du mélange He/Ne est due au fait que le néon a une masse molaire plus importante que l'hélium, ce qui entraîne un meilleur taux de compression du mélange. L'hélium a quant à lui, une plus grande conductivité thermique que

le néon, ce qui permet d'avoir des échangeurs plus compacts (Fleck *et al.*, 2002). Pour permettre la liquéfaction de ce mélange, un cycle turbo-Brayton est retenu. A partir de ces quelques spécifications, l'architecture retenue pour le réfrigérateur est détaillée dans la figure 4.1.

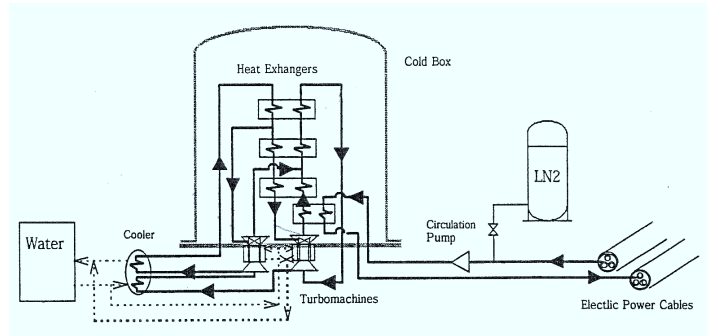


FIG. 4.1 – Architecture envisagée d'un réfrigérateur (Saji *et al.*, 2002)

La technologie retenue pour les turbo-machines assurant la compression/détente du mélange repose sur un moteur monté sur paliers magnétiques et permettant ainsi d'avoir des vitesses de rotation importantes (env. 1000Hz). L'avantage des moteurs à paliers magnétiques est d'avoir une plus grande fiabilité étant donné que les contacts entre éléments tournants sont inexistant. Néanmoins, cela requiert une pureté importante des gaz circulant dans les turbines. La lubrification des éléments tournants n'étant plus nécessaire du fait des non-contacts, il n'y a plus de risques d'insertion d'huile dans le mélange He/Ne, éliminant ainsi les problèmes de pollution qui pourrait subvenir et pour lesquels un module spécifique de déshuilage serait nécessaire.

4.1.2 Les câbles supraconducteurs

Les câbles utilisés pour ce projet sont appelés câbles supraconducteurs haute température (HTS pour *High Temperature Supraconductor*). Ceci est dû au fait que la température de fonctionnement des câbles est comprise entre 65 et 70°K alors que les premiers câbles supraconducteurs avaient des températures de fonctionnement aux alentours de 4°K. Même si la température de fonctionnement entre les premières découvertes supraconductrices et les câbles d'aujourd'hui ont été multipliés par 17,5, la température dite « haute » reste tout de même de -203,15°C... Pour descendre jusqu'à de telle température, le câble est inséré dans une enceinte dans laquelle de l'azote li-

guide circule (voir la structure d'un câble supraconducteur figure 4.2). Cette circulation d'azote permet de capturer la chaleur dégagée par le câble et ainsi assurer les performances supraconductrices.

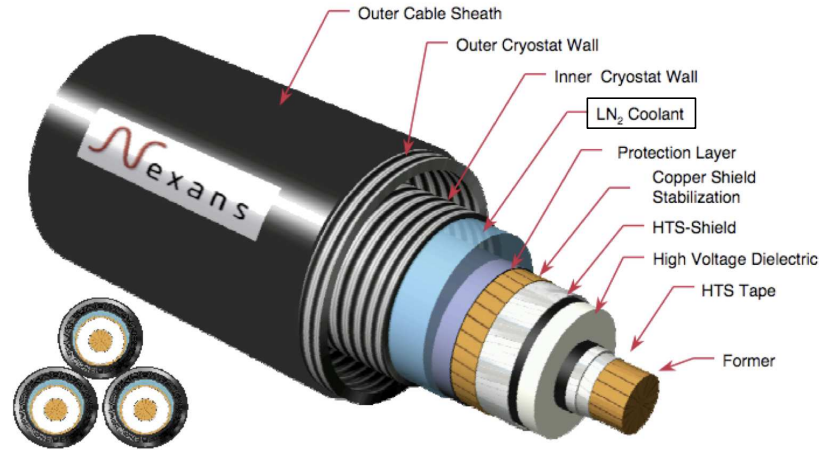


FIG. 4.2 – Structure d'un câble supraconducteur haute température

4.1.3 Le projet de SPS HTS

Dans le cadre de ce projet, un certain nombre d'objectifs ont été fixés par le client. Ces objectifs concernent les points suivants :

- une efficacité importante : rendement de Carnot $> 30\%$;
- un faible coût de réfrigération : $< 25\$/W$ de réfrigération ;
- une disponibilité importante du système : $> 99.8\%$.

A partir de ce cahier des charges initial, les industriels impliqués dans le projet doivent donc proposer un service garantissant les attentes du client. Si nous nous référons à la typologie proposée par Tukker et Tischner (voir partie 2.1.4.2, page 34), ce système produits-services fait partie de la catégorie "services orientés résultat". Le client ne souhaite pas acheter des réfrigérateurs et s'occuper de les faire fonctionner. Il souhaite que ce soit le fournisseur du SPS qui se charge de lui fournir le résultat souhaité, à savoir une production de froid pour les câbles. Dans cette démarche, c'est donc bien le fournisseur du SPS qui est responsable de la livraison des performances attendues par le client. L'objectif est ensuite de distribuer l'énergie aux particuliers ou entreprises. Ainsi, le client devient fournisseur de service en garantissant la distribution d'énergie aux clients finaux. Par conséquent,

si le transport d'énergie n'est pas assuré par l'intermédiaire des câbles supraconducteurs (manque de froid par exemple), alors la distribution finale ne pourra pas se faire. La garantie de fourniture de froid est donc une des garanties de la distribution finale d'électricité chez le client.

4.1.4 La solution produit "classique" au refroidissement des câbles électriques

Spécialiste dans le secteur de la cryogénie et de la liquéfaction de l'hélium, le fournisseur du SPS est aujourd'hui un des acteurs majeurs proposant des solutions clés en main à ses clients. Les liquéfacteurs hélium "classiques" sont composés de différents modules assurant différentes fonctions (voir figure 4.3).

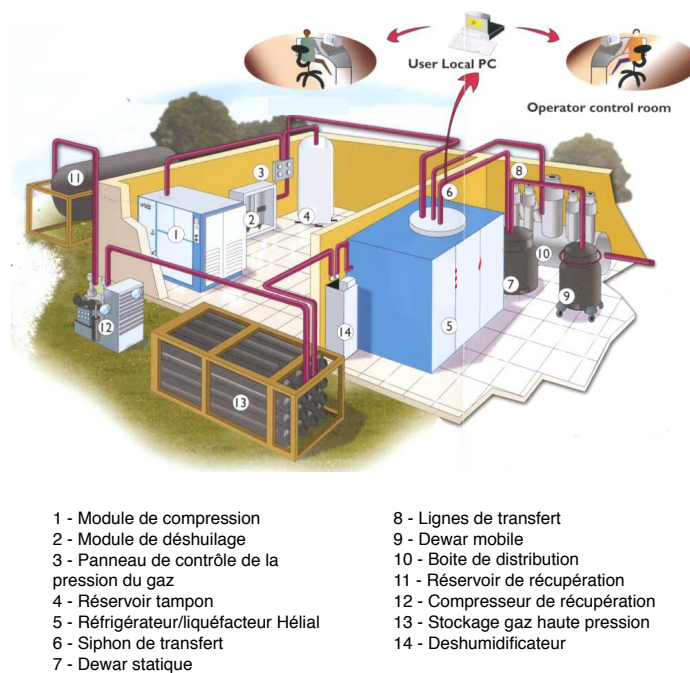


FIG. 4.3 – Description d'un centre de liquéfaction hélium

Les principaux modules de ces systèmes ainsi que leurs fonctions sont :

Un module de compression : avant de passer le gaz dans l'état liquide, il est nécessaire de le comprimer à une pression avoisinant les 15 bar ;

Un module de déshuilage : la compression du gaz se fait dans la plupart des cas par des compresseurs à vis. Aussi, le gaz comprimé est mélangé

avec de l'huile ayant pour fonction de limiter les frottements entre les vis. Après compression, il est donc nécessaire de déshuiler le gaz haute pression ;

Un module de récupération : l'hélium liquide utilisé sur une application passe rapidement en phase gazeuse. Afin de réutiliser le gaz et de fonctionner un maximum en boucle fermée, un module de récupération est utilisé pour perdre le moins possible d'hélium et ainsi le réinjecter dans le cycle ;

Un module de liquéfaction : une fois le gaz comprimé, pour le passer à l'état liquide il est nécessaire de le détendre et c'est ce module qui assure la détente pour liquéfier le gaz ;

Un module de contrôle : c'est la partie commande du système qui gère le fonctionnement selon la demande. C'est également le poste qui supervise et voit si des problèmes/pannes arrivent sur le système.

Les clients de ces systèmes de liquéfaction sont principalement des laboratoires de recherche faisant des expériences nécessitant des températures basses. Dans le cadre de l'élargissement du produit par des services techniques, une analyse approfondie des besoins des clients a mis en évidence le fait que la disponibilité des machines n'était pas un critère prépondérant lors de l'achat des équipements. Les clients ne veulent donc pas payer pour des services techniques assurant la disponibilité des équipements. Dans le cadre du projet HTS, la contrainte de productivité et de garantie du résultat est l'élément clé demandé par le client. De plus, le faible coût requis par le client impose de revoir la conception du réfrigérateur. Pour cela, la réfrigération va se faire par un mélange He/Ne et les turbo-moteurs montés sur paliers magnétiques permettent d'envisager une machine plus simple (présentée figure 4.1).

4.2 Application de la méthodologie

4.2.1 Etude d'une portion de câbles à réfrigérer

Nous allons présenter l'étude d'une portion de câbles à réfrigérer. Une pré-étude a conclu que l'optimum du rapport rendement sur coût d'un réfrigérateur était atteint pour une capacité de réfrigération de l'azote circulant dans 2 kilomètres de câble. Ainsi, sur l'étude d'une portion de 20 km, 10 réfrigérateurs sont nécessaires. Pour chaque réfrigérateur, un réservoir d'azote liquide est annexé afin de compenser les pertes qui se produisent dans les câbles. Une vanne permet de réguler le niveau de LN2 dans les câbles. Afin de

garantir la disponibilité de 99,8% requise par le client, il est donc nécessaire de voir quel est le meilleur couple de solutions {Réfrigérateurs-Maintenance} pour assurer la réparation du système. Cette indisponibilité correspond au temps pendant lequel la portion de câbles ne peut plus transporter d'électricité. Sur les 10 réfrigérateurs de la ligne, si un réfrigérateur tombe en panne, les capacités de refroidissement des 9 autres peuvent compenser cette panne. Mais si 2 réfrigérateurs tombent en panne, alors la supraconductivité des câbles n'est plus atteinte et le transport d'énergie ne se fait plus. Le service est alors indisponible.

Les exigences techniques à tenir sont les suivantes :

- Disponibilité requise : 99,8%
- Au maximum 1 machine sur les 10 doit être arrêtée, au-delà, le système ne fonctionne plus.

Le temps d'arrêt d'un réfrigérateur est la somme du temps pour stopper le fonctionnement d'un réfrigérateur, le temps pour le réparer et le temps pour le redémarrer. Les temps d'arrêt et redémarrage du réfrigérateur sont dépendants du process thermodynamique. On nous impose que ce temps est de 2 heures (1 heure pour arrêter et 1 heure pour redémarrer un réfrigérateur). La seule possibilité pour diminuer le temps pendant lequel le réfrigérateur est arrêté est de limiter le temps effectif de réparation. Ce temps va dépendre du nombre de techniciens employés, de la facilité d'accès aux composants, etc. A partir du retour d'expérience des techniciens de maintenance, une estimation du temps de réparation être faite pour procéder au démontage, remplacement et remontage d'un élément. Pour un groupe de 2 techniciens, le temps moyen de réparation est estimé à 2h30. En cumulant les temps d'arrêt, redémarrage et réparation, un système ayant subi une panne mécanique est donc totalement arrêté pendant 4h30. A partir de ces éléments, il est donc possible de déterminer la fiabilité nécessaire à avoir pour la machine afin de limiter le temps d'arrêt. Nous utiliserons ces données dans le cadre du dimensionnement des paramètres de solutions liés au réfrigérateur (%panne, %process, etc.) et à l'unité de maintenance (nb de techniciens, temps de réparation, etc.).

La difficulté dans ce respect de la disponibilité est que l'on ne connaît pas exactement s'il y a indépendance entre les pannes. En effet, tant qu'il n'y a qu'une seule machine en panne, même si le technicien met 2 jours pour réparer la panne, cela n'a pas d'influence sur la disponibilité globale du système.

4.2.2 Modélisation externe du système

4.2.2.1 Les fonctions de service du SPS HTS

La première étape de notre méthodologie a eu pour but d'identifier quels étaient les éléments à prendre en compte dans la conception du système. Le graphe des interacteurs a été réalisé pour l'ensemble du système qui délivrera la performance attendue par le client (voir figure 4.4). Le système HTS à développer sera installé dans un environnement ayant certaines propriétés (température, humidité, etc.) et aura pour fonction d'interaction d'assurer la réfrigération des câbles HTS du client. Il est également nécessaire que le système réponde aux normes en vigueur dans le pays dans lequel il est installé. Dans le cadre du développement des systèmes produits-services, nous avançons qu'il est également nécessaire que le système soit durable, c'est-à-dire prenant en compte des aspects environnementaux, sociaux et économiques. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les "objectifs développement durable" du groupe développant ce système.

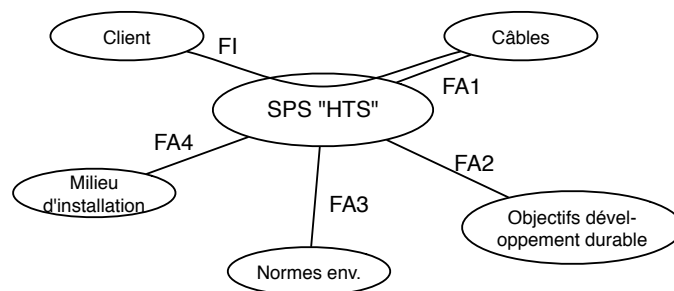


FIG. 4.4 – Modélisation du SPS HTS dans son environnement

Les fonctions de service identifiées dans cette représentation sont :

- FI : le système assure au client la réfrigération des câbles ;
- FA1 : le système doit être adapté aux câbles ;
- FA2 : le système doit respecter les objectifs développement durable de l'entreprise ;
- FA3 : le système doit tenir compte des normes environnementales ;
- FA4 : le système doit résister aux conditions du milieu dans lequel il est installé.

La fonction d'adaptation 2 met en avant les objectifs développement durable fixés par la société fournissant le SPS. Les indicateurs relatifs à l'environnement sont principalement liés avec :

- la consommation d'électricité par unité de production ;
- la consommation d'eau (pour le procédé et en appoint) par unité de production ;
- les rejets dans l'air (CO_2 , NO_x , SO_x , etc.) ;
- les rejets dans l'eau (matières oxydables, en suspension, etc.) ;
- la consommation annuelle de matières premières.

Les indicateurs liés aux aspects économiques concernent principalement le résultat net et l'actionnariat. L'objectif économique du groupe est de *"poursuivre dans la durée et la transparence une politique de rémunération globale de l'actionnaire pour assurer une croissance régulière de son capital"*. Ces aspects ne seront donc pas directement utilisés comme des critères entrant en compte dans le cadre de la conception de ces systèmes. Néanmoins, des aspects liés aux coûts (de fonctionnement par exemple) peuvent être mis en avant dans la caractérisation de cette fonction.

Les indicateurs liés aux aspects sociaux du groupe traitent principalement de la mixité des personnes embauchées, des jours de formation accordés aux salariés et du suivi des employés par l'intermédiaire d'entretiens annuels avec la hiérarchie. Là encore, ces critères ne seront pas mis en avant dans la caractérisation de la fonction d'adaptation FA2.

4.2.2.2 Caractérisation des fonctions et milieux extérieurs

Les fonctions de service identifiées ont été caractérisées. Dans cette caractérisation, on retrouve des éléments du cahier des charges initial, comme la disponibilité, le coût, etc. De plus, des éléments spécifiques aux interactions entre les câbles et le système ont été caractérisés (voir tableau 4.1). Ce sont principalement des contraintes dimensionnelles qui sont mises en avant dans la caractérisation de la fonction d'adaptation entre les câbles et le système (FA1).

Cette caractérisation des fonctions attendues par des critères et par leurs niveaux, donne une première traduction des besoins des clients mais aussi de l'ensemble des acteurs du cycle de vie. Dans la caractérisation de la fonction d'adaptation 2, on retrouve les critères liés à la consommation de ressources, la production de déchets dont nous avons discuté précédemment. La mise en place de niveaux pour ces consommations n'est pas triviale, peu d'indicateurs ayant été développés à ce jour pour les quantifier de manière systématique. Aussi, dans le cadre de ce projet, nous proposons de mettre une indication sur le fait qu'il est nécessaire de minimiser le niveau de ces critères. La comparaison entre différentes alternatives de solutions permettra ensuite de voir le système qui consomme et rejette le moins tout en respectant l'ensemble

Fonctions	Critères	Niveau
FI	Température de fonctionnement Disponibilité Efficacité du cycle de Carnot Coût /W de réfrigération Etc.	65-70°K >99,8% >30% <25\$...
FA1	Diamètre câbles Etc.	
FA2	Consommation énergie Consommation eau (appoint et process) Consommation matières premières Rejets dans l'eau Rejets dans l'air	Minimum Minimum Minimum Minimum Minimum
FA3	Recyclabilité des produits Normes Reach Normes DEEE Etc.	X% ...
FA4	Température moyenne Humidité Etc.	20°C entre 30 et 70%

TAB. 4.1 – Caractérisation des fonctions de service attendues

des critères du cahier des charges tels que la disponibilité, l'efficacité, etc.

4.2.3 Identification des premiers éléments de solutions

4.2.3.1 Les fonctions spécifiques aux systèmes produits-services

Dès lors que l'identification des fonctions externes a été faite, il est nécessaire de se tourner alors vers les fonctions techniques qui seront réalisées par le système. Dans l'approche par les fonctions que nous détaillons partie 3.4.2, nous avançons que certaines fonctions techniques spécifiques qui se retrouvent dans la plupart des systèmes produits-services doivent être étudiées. Ainsi, le diagramme FAST figure 4.5, permet de mettre en avant certains principes de solutions pouvant être utilisés pour répondre aux fonctions spécifiques SPS de ce système. Les alternatives de solution apparaissent par l'intermédiaire de branche "ou" dans ce diagramme.

Dans le cadre de la fonction assurer le bon fonctionnement, les premiers éléments de solutions apparaissent. Deux grands principes de solu-

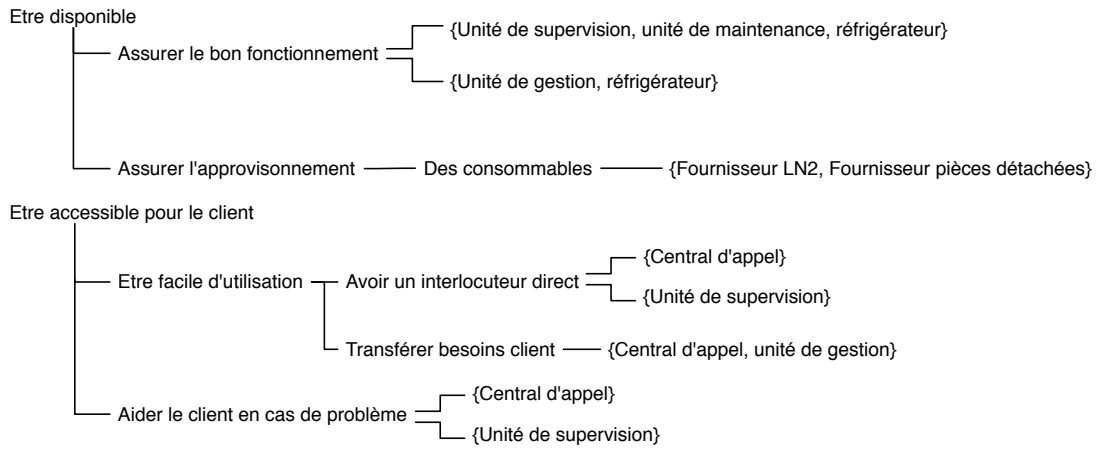


FIG. 4.5 – Les principes de solutions mis en avant pour les fonctions spécifiques SPS dans le cadre du projet HTS

tions peuvent être détaillés. La gestion des réfrigérateurs peut être faite soit à distance par une unité de supervision, ou bien sur place par une unité de gestion. De plus, des unités de maintenance vont également être employées pour réparer les machines. On peut également envisager dans ce dernier cas que l'équipe de gestion qui est sur site qui s'occupe également de la maintenance. Ces hypothèses et "principes de fonctionnement" seront détaillés dans la mise en place des scénarios de fonctionnement.

Le système envisagé est basé sur une réfrigération des câbles à partir d'azote liquide (LN2). Comme dans tout système cryogénique, des pertes peuvent se produire. Une fonction spécifique SPS est d'approvisionner en consommables le système. L'azote liquide est ainsi considérée dans ce cas comme un consommable. Pour compenser les pertes, il est alors nécessaire d'impliquer un fournisseur de LN2 dans le système. Une nouvelle unité de service apparaît donc et doit être intégrée dans le système. Il en va de même pour impliquer un fournisseur de pièces détachées. Pour compléter la recherche de solutions, le groupe de travail a lancé la description de scénarios d'utilisation.

4.2.3.2 Définition des interactions entre le système et le client : les scénarios d'utilisation envisagés

Le système à développer doit assurer au client un résultat. Ce n'est pas le client qui va utiliser directement le système, néanmoins certaines interactions

vont avoir lieu, notamment pour ajuster les performances du système à ses exigences. Dans ce but, 2 scénarios d'utilisation sont détaillés. Les scénarios envisagés dans la figure 4.6 sont basés sur 2 types de solutions différentes. Dans le premier scénario, on envisage de centraliser les appels vers une unité de supervision. L'unité de supervision, qui a aussi la possibilité de contrôler les réfrigérateurs à distance, peut alors agir directement sur les équipements à travers un boîtier de supervision. Dans le second scénario, le client va contacter un central d'appels qui ne sera qu'un intermédiaire pour faire transiter les besoins vers l'unité de gestion qui gèrera sur place les performances des machines par l'intermédiaire d'un boîtier de gestion. Dans les 2 scénarios envisagés, l'objectif est le même à savoir adapter les performances des réfrigérateurs aux besoins du client qui peuvent évoluer. Néanmoins, pour un même objectif, les activités à faire sont différentes et ne nécessitent pas les mêmes éléments impliqués dans le système (objets physiques et/ou unités de service). Pour plus de simplicité, nous nommons dans la suite de ce chapitre "*scénario 1*" le système géré à distance par supervision et "*scénario 2*" le cas où les équipements sont gérés sur place

Dans le scénario 1, les objets physiques et unités de service utilisés pour modifier les performances des machines sont :

- une unité de supervision ;
- un boîtier de supervision permettant de commander à distance les réfrigérateurs ;
- le réfrigérateur.

Pour résumer, les modifications des performances des machines dans le scénario 2 sont réalisées par les éléments suivants :

- un central d'appels ;
- une équipe sur place ;
- un boîtier de contrôle ;
- le réfrigérateur.

4.2.3.3 Les fonctions techniques et solutions envisagées du système

Suite au détail des scénarios d'utilisation et des fonctions spécifiques SPS, il est nécessaire de définir les différentes fonctions techniques à réaliser. Les solutions envisagées pour les fonctions spécifiques SPS (voir figure 4.5) peuvent être enrichies à partir des scénarios d'utilisation proposés précédemment (voir figure 4.6). Par rapport au FAST réalisé dans la figure 4.5, la fonction technique "assurer le bon fonctionnement" a été décomposée en une fonction "modifier les performances des équipements afin de les adapter

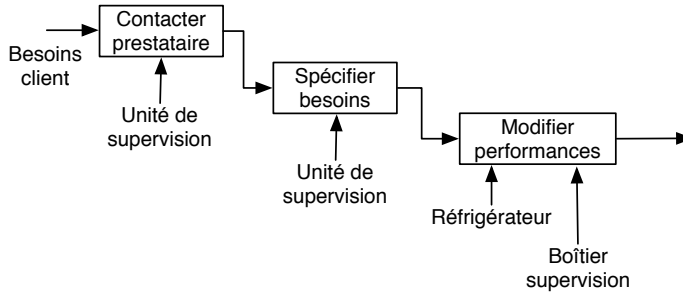
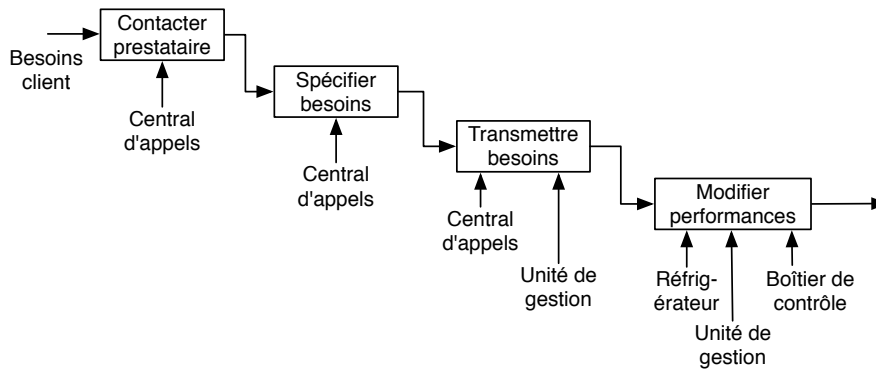
Scénario 1 : modification des performances système à distance par une unité de supervision**Scénario 2 : modification des performances système sur place par une unité de gestion**

FIG. 4.6 – Les 2 scénarios d'utilisation envisagés

aux besoins du client" et "réparer les équipements". Pour les 2 scénarios précédents, on retrouvera les éléments assurant le réapprovisionnement en consommables (les fournisseurs de pièces et de LN2) ainsi que les objets physiques réalisant la réfrigération des câbles (le réfrigérateur, la pompe, le LN2, le réservoir, la vanne). Pour assurer le bon fonctionnement, soit une gestion à distance par l'intermédiaire d'une équipe de supervision est envisagée, soit une unité de gestion installée sur place s'occupe de modifier les paramètres process de la machine pour adapter les performances aux besoins du client. Ces 2 types de solutions ont donc une influence sur l'autre fonction technique "réparer les équipements". En effet, en envisageant ces 2 types de gestion, on peut alors étendre ce principe à la fonction technique de réparation. Par exemple, dans le cas du scénario 1 (gestion à distance), le traitement des informations à distance sera également utilisé pour informer les fournisseurs en azote liquide et de pièces détachées afin qu'ils assurent le réapprovisionnement. Dans le scénario 2 (gestion sur site), l'unité de gestion

est en charge de modifier les performances de la machine et on envisage également qu'elle soit en charge d'assurer la maintenance des équipements. Pour chacun de ces scénarios, il est donc nécessaire de garder une homogénéité entre les principes de solutions envisagés, c'est-à-dire que soit on utilisera au maximum la gestion soit à distance, soit on commandera tout depuis l'unité de gestion installée sur place. Dans le cas du scénario 1, l'instrumentation de la machine sera particulièrement étudiée afin de permettre un contrôle total du réfrigérateur par l'unité de supervision. Des capteurs et instruments de mesure doivent être installés sur la machine afin de pouvoir contrôler en temps réel les différents organes de la machine. Le degré d'instrumentation sera un élément important dans le cas de la gestion des équipements à distance.

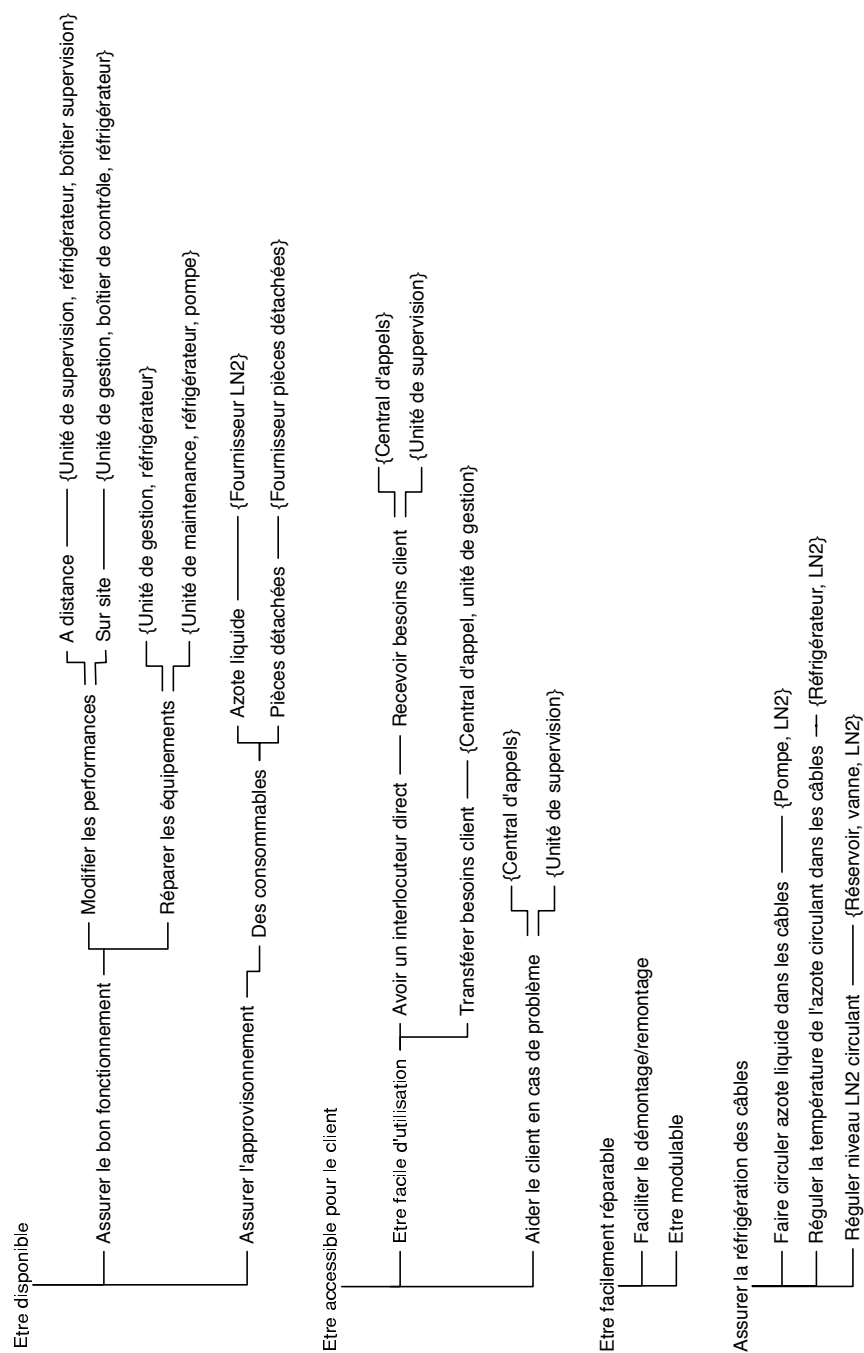


FIG. 4.7 – Les fonctions techniques du SPS HTS et les principes de solutions envisagés

Dans cette description des fonctions, la fonction principale attendue du système est également détaillée. Comme il l'a été noté dans la représentation du système dans son environnement (voir partie 4.4), le système doit permettre au client d'assurer la réfrigération des câbles. Cette réfrigération est réalisée grâce aux fonctions techniques suivantes :

- faire circuler l'azote dans les câbles ;
- réguler la température de l'azote circulant dans les câbles ;
- réguler le niveau d'azote dans les câbles.

Ainsi, que l'on se base sur le scénario 1 ou 2, on retrouvera toujours les objets physiques assurant la réfrigération qui sont le réfrigérateur, la pompe, le LN2, le réservoir de LN2 et la vanne.

4.2.4 Modélisation interne des solutions identifiées

Les fonctions techniques identifiées précédemment ont fait apparaître 2 possibilités de gestion des équipements : soit une gestion directement sur site est réalisée par l'intermédiaire d'une unité de gestion, ou bien une gestion des équipements est faite à distance par une unité de supervision. A partir de ces 2 scénarios, une modélisation interne du système avec les premiers éléments de solutions a été réalisé pour chacun de ces scénarios.

4.2.4.1 Système envisagé pour le scénario 1

Dans le diagramme FAST regroupant les fonctions techniques du système et les solutions (voir figure 4.7), on retrouve des éléments communs aux 2 scénarios. Ces objets physiques et unités de service concernent les fonctions suivantes :

- Assurer le réapprovisionnement en consommables
 - fournisseur de LN2
 - fournisseur de pièces détachées
- Assurer la réfrigération des câbles
 - le réfrigérateur
 - la pompe
 - le LN2
 - le réservoir
 - la vanne

Dans le cadre du scénario 1, les unités de services et objets physiques supplémentaires aux éléments précédents sont :

- une unité de supervision ;

- une boîtier de supervision ;
- une unité de maintenance.

A partir de ces premiers éléments, une première modélisation interne sous la forme d'un BDF a été réalisée (voir la figure 4.8). Cette représentation a permis de faire apparaître les premiers éléments impliqués dans le système et leurs relations. La mise en relation des différents éléments impliqués dans le système est réalisée par la mise en place de boucles de conception. Par exemple, la fonction technique "faire circuler l'azote liquide dans les câbles" mettait en avant l'objet physique "pompe". La boucle de conception relative à cette fonction technique met en relation la pompe, le LN2 ainsi que les câbles. Le concepteur doit donc trouver une solution pour réaliser les liens entre ces éléments (pompe assemblée par vis sur les câbles, soudée, etc.). Ces boucles de conception sont identiques aux fonctions techniques du diagramme FAST mais permettent de montrer l'organisation entre les éléments envisagés. On retrouve ainsi les boucles suivantes :

- modifier les performances du système ;
- réparer les équipements ;
- faire circuler le LN2 dans les câbles ;
- réguler la température du LN2 ;
- ajuster le niveau du LN2 circulant dans les câbles ;
- approvisionner en LN2 ;
- approvisionner en pièces détachées.

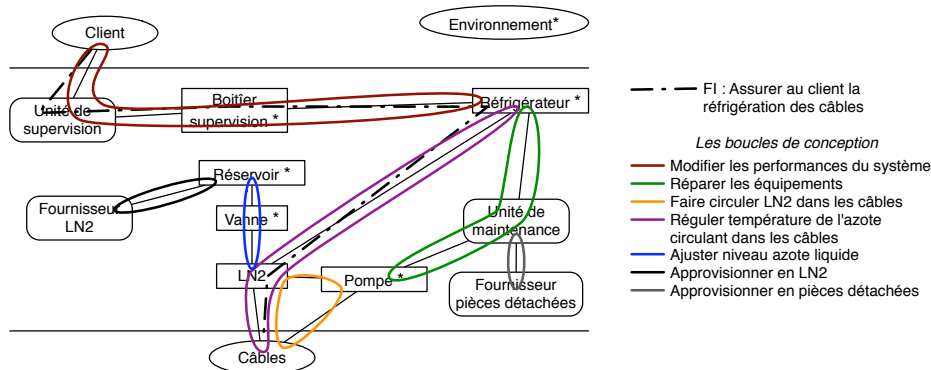


FIG. 4.8 – Représentation interne du système pour le scénario 1

Dans le cas de la fonction "modifier les performances du système", nous avons identifié une unité de supervision, un boîtier de supervision et le réfrigérateur à la suite de la description du scénario d'utilisation. Le bloc diagramme fonctionnel fait apparaître ces boucles de conception et les liens

qui existent. Ainsi, l'unité de réfrigération ne sera pas en relation directe avec le réfrigérateur mais passera par l'intermédiaire du boîtier de supervision. C'est ce boîtier qui permettra à l'unité de supervision de pouvoir "prendre la main" sur la machine et la contrôler. Il est donc en relation avec la supervision afin de pouvoir réceptionner les ordres de l'unité. D'un autre côté, le lien avec le réfrigérateur est nécessaire pour pouvoir commander la machine.

La fonction principale attendue par le client qui est "le système assure au client la réfrigération des câbles" passe par les éléments suivants : Client - Unité de supervision - Boîtier de supervision - Réfrigérateur - LN2 - Câbles. Cette fonction principale met également en jeu plusieurs boucles de conception annexes. Par exemple, il est nécessaire d'avoir la boucle "approvisionner en LN2" pour garantir le niveau de LN2 circulant dans les câbles, tout comme il est nécessaire de "réparer les équipements". Cette représentation permet donc aux concepteurs de ne pas se focaliser uniquement sur les éléments impliqués dans la fonction principale, mais également de prendre en compte les autres objets physiques/unités de service impliqués dans les boucles de conception. Cette première représentation interne du système a été détaillée pour étoffer les interactions qui existent entre les différents éléments du système. La boucle de conception "approvisionner en pièces détachées" met en relation l'unité de maintenance et le fournisseur de pièces détachées. Néanmoins, le groupe de travail s'est posé la question de savoir qui informe le fournisseur des pièces à livrer. Il a été envisagé que ce soit l'unité de maintenance qui le fasse directement, mais cela pourrait très bien être fait par l'unité de supervision qui après avoir fait le diagnostic d'une panne aurait la possibilité de commander les pièces nécessaires pour effectuer la réparation. Ces différentes alternatives doivent être détaillées dans la définition des organisations à mettre en place pour répondre aux boucles de conception. C'est par l'intermédiaire des scénarios de fonctionnement que ces alternatives sont apparues.

4.2.4.2 Système envisagé pour le scénario 2

Dans le cadre d'un système basé sur une gestion sur site, les éléments impliqués sont différents de ceux envisagés pour une gestion à distance. La base de cette solution repose sur une équipe de personnes capables de pouvoir modifier les performances de la machine. Cette équipe est également capable d'assurer les réparations nécessaires sur la machine. On retrouve ces fonctions techniques identifiées lors du FAST dans le système basé sur une gestion sur site (voir figure 4.9), néanmoins les boucles de conception ne sont pas identiques puisqu'elles passent par des éléments différents. Dans ce 2^{ème} système, la fonction principale passe par les éléments suivants : Central

d'appel - Equipe sur site - Boîtier de contrôle - Réfrigérateur - LN2 - Câbles.

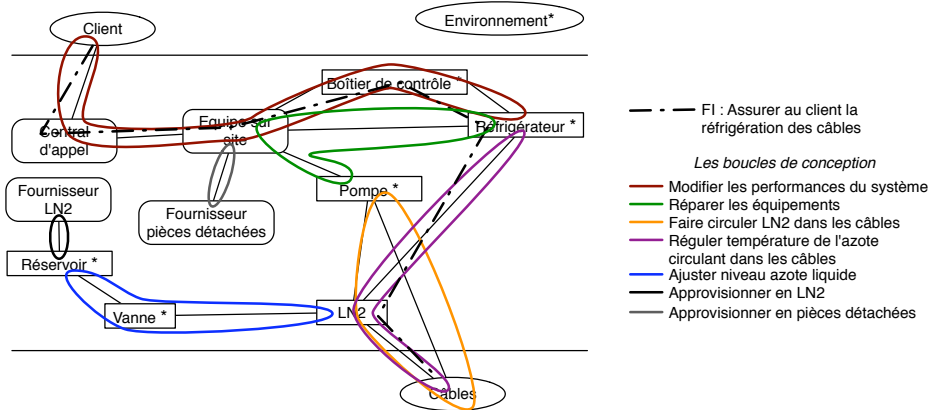


FIG. 4.9 – Représentation interne du système pour le scénario 2

Comme nous l'avons évoqué dans la partie 4.2.3.3, l'unité de gestion est également en charge de réparer les équipements. Les différences entre ces boucles se font donc au niveau des solutions employées pour les réaliser. Ce que nous analysons dans les parties suivantes.

4.2.4.3 Discussion sur la disponibilité

Dans le cahier des charges initial donné par le client, un des critères prépondérants pour ce service est d'assurer la disponibilité des équipements. Le critère externe de disponibilité est de 99,8%. Ramené sur une année totale de fonctionnement (24h/24 pendant 365 jours), le taux de pannes autorisé est de 17 heures et 31 minutes. Sachant que le temps pour réparer ces équipements est estimé à 4h30, cela implique qu'il ne doit pas arriver plus de 4 pannes simultanées pour garantir la disponibilité au client. Si les pannes sont indépendantes, alors on peut garantir la disponibilité du système, mais la question de l'indépendance des pannes n'est pas aussi triviale...

Comparativement à la contrainte de disponibilité forte requise par le client, il est nécessaire d'identifier les cas de pannes que l'on souhaite éviter. La figure 4.10 illustre les états des équipements physiques. Selon la nature de la panne et de son degré d'importance, des stratégies de maintenance pour assurer le bon fonctionnement sont envisagées. Trois types d'opération de maintenance peuvent être envisagées. Suite à une défaillance du process thermodynamique, une première opération consiste à reconfigurer le réfrigérateur. Le process thermodynamique du réfrigérateur est particulièrement

complexe. Ainsi, pour garder des performances optimales, il peut être nécessaire d'adapter certains paramètres spécifiques comme, la pression du mélange en entrée de turbine, la vitesse de rotation des turbo-machines, etc. C'est une opération de reconfiguration des paramètres opérationnels du réfrigérateur. Il n'y a pas de problèmes mécaniques sur les composants mais ce sont les paramètres du process qui sont à modifier. Si un problème mécanique se produit (e.g. casse rotor turbo-machine), alors dans ce cas il est nécessaire d'arrêter le système pour effectuer la réparation. Les cas que l'on souhaite éviter, du fait de la forte contrainte de disponibilité requise, sont ceux dans lesquels le système doit être arrêté. Par conséquent, la conception des réfrigérateur aura pour but de minimiser les probabilités de panne. Les probabilités de reconfiguration process sont quant à elles moins importantes que celles de panne puisque même si les performances de la machine sont dégradées, cela ne nécessite pas l'arrêt des équipements. La 3^{ème} opération concerne le réapprovisionnement en consommable. En effet, une dégradation des performances du processus de réfrigération peut venir d'un manque de consommable circulant dans les câbles. C'est dans cette opération que le fournisseur de LN2 est impliqué.

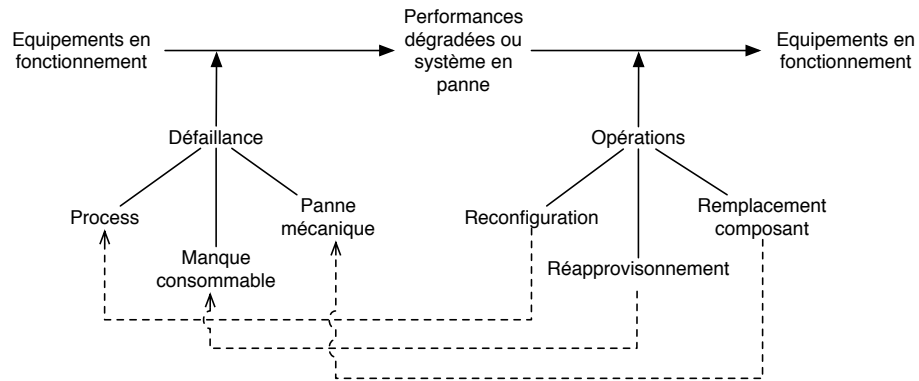


FIG. 4.10 – Les états du système associés aux cas de défaillance

4.2.4.4 Premiers éléments mis en place pour faire l'évaluation

			Critères externes															
			Temp. Fonct	Disponibilité	Efficacité Carnot	Coût	Diamètres câbles	Conso NRJ	Conso. Eau	Conso. mat. Prem	Rejets eau	Rejets air	Recyclabilité	Reach	DEEE	Temp. Moyenne	Humidité	
Scénario 1 : système géré à distance	Réparer les équipements	Réfrigérateur		X	X												X	X
		Unité de maintenance		X		X		X				X						
		Pompe		X													X	X
	Modifier les performances du système	Réfrigérateur	X	X				X	X	X								
		Boîtier de supervision	X					X									X	X
		Unité de supervision	X			X												
	Faire circuler LN2 dans les câbles	Client	X															
		Pompe LN2	X				X	X		X			X				X	X
	Réguler température LN2	Câbles	X				X											
		Réfrigérateur LN2	X		X			X	X	X	X	X	X					
Ajuster niveau LN2	Réfrigérateur LN2	X																
	Réservoir		X														X	X
	Vanne LN2		X														X	X
Approvisionner en LN2	Client		X															
	Fournisseur LN2		X		X								X				X	X
	Réservoir		X															
Approvisionner en pièces détachées	Unité de maintenance		X															
	Fournisseur pièces détachées		X															

Scénario 2 : système géré sur site	Réparer les équipements	Réfrigérateur		X	X												X	X
		Unité de gestion		X		X		X				X						
		Pompe		X													X	X
	Modifier les performances du système	Réfrigérateur	X	X				X	X	X								
		Central d'appel	X					X										
		Boîtier de contrôle	X															
		Unité de gestion	X			X		X	X									
	Faire circuler LN2 dans les câbles	Client	X															
		Pompe LN2	X				X	X		X			X				X	X
	Réguler température LN2	Câbles	X				X											
Réfrigérateur LN2		X		X			X	X	X	X	X	X						
Ajuster niveau LN2	Réfrigérateur LN2	X																
	Réservoir		X														X	X
	Vanne LN2		X														X	X
Approvisionner en LN2	Client		X															
	Fournisseur LN2		X					X				X						
	Réservoir		X										X				X	X
Approvisionner en pièces détachées	Unité de gestion		X															
	Fournisseur pièces détachées		X				X											

FIG. 4.11 – Tableau de bord mettant en relation les boucles de conception et les critères externes du système

La boucle de conception "réparer les équipements" a un impact principal sur la disponibilité du système. Les différents éléments impliqués dans cette boucle vont également avoir des impacts sur d'autres critères. Dans le cas où le système est géré sur site, l'équipe en place est en charge également de la maintenance. Par conséquent, les impacts sur les émissions de CO_2 seront moins importants que dans le cadre où l'équipe de maintenance a besoin de se déplacer sur site. D'un autre côté, cette "mobilisation" de personnes sur site a un coût plus important qu'une intervention faite ponctuellement par une unité de maintenance comme cela pourrait être le cas dans une gestion à distance des équipements. Cette première mise en relation permet donc de voir quels sont les impacts des solutions sur les critères externes. Pour approfondir ces relations, et notamment comparer les solutions entre elles (typiquement sur le cas de la boucle de conception "réparer les équipements"), il est nécessaire de détailler les activités faites par les objets physiques et les unités de service. Si on décide de s'orienter vers une gestion à distance des équipements, alors les techniciens de l'unité de maintenance doivent se déplacer avec un véhicule pour effectuer les réparations. L'impact de ces déplacements sur le critère "Emissions produites" dépendra donc de la fréquence des déplacements, du nombre de déplacements ainsi que du moyen utilisé pour se déplacer. La fréquence des déplacements sera fonction également des paramètres du réfrigérateur tels que la fiabilité. On voit donc que le problème de résolution de l'évaluation globale du système devient vite dépendante de plusieurs paramètres, que ce soient des paramètres des objets physiques, des unités de service et des paramètres du système. On peut donc dire que la disponibilité est fonction de :

$$\text{Disponibilité} = f(\text{Paramètres objets, Paramètres unités de service, Paramètres système})$$

Si on fixe un paramètre pour un élément (e.g. le nombre de personnes maximum impliquées dans l'unité de maintenance), on peut alors en conclure qu'il faudra une machine ayant au minimum X% de fiabilité. A partir de là, les concepteurs ont pu proposer des solutions permettant de garantir ce paramètre "objet". Si le concepteur n'est pas en mesure de pouvoir concevoir un objet physiques ayant ces propriétés, alors on verra si on peut augmenter le nombre de personnes incluses dans l'unité de maintenance et ainsi revoir les paramètres de fiabilité du produit.

Mais pour conduire une analyse un peu plus approfondie des relations entre critères externes et paramètres de solution, nous nous sommes focalisés sur l'élucidation des scénarios de fonctionnement afin de détailler les activités qui sont faites pour répondre à ces boucles.

Un des critères externes importants dans ce système concerne la disponibilité. Afin de proposer des solutions et organisations pour répondre à cette contrainte, nous avons décrit des scénarios de fonctionnement possibles pour assurer la réparation des éléments du système. Pour illustrer l'apport des scénarios de fonctionnement dans le cadre du développement de ce projet, nous nous focalisons sur la boucle de conception relative à la réparation des équipements. En effet, pour pouvoir réparer les équipements, ou même approvisionner en azote liquide le réservoir, on doit voir comment est délivrée l'information, qui la traite, la reçoit pour effectuer ensuite l'opération. Il est donc nécessaire de traiter les états des objets physiques impliqués dans ces systèmes. Par exemple, que se passe-t-il si un des objets tombe en panne ? Pour chacun des objets physiques impliqués, les états vont conduire à différents types d'actions. A partir de ces éléments, l'équipe de conception s'est attachée à décrire les activités nécessaires à la réparation des équipements.

4.2.5 Les organisations mises en place pour assurer le bon fonctionnement

Après avoir identifié les boucles de conception à détailler, il est maintenant nécessaire de voir les activités qui doivent être faites. Dans le cadre de cet exemple, nous nous focalisons uniquement sur la boucle de conception relative à la réparation des équipements. Nous étudions le cas d'une gestion des équipements à distance ainsi que le cas où c'est une équipe sur site qui se charge de gérer/réparer les équipements.

4.2.5.1 Scénario 1 : étude du fonctionnement pour effectuer les réparations sur le réfrigérateur

Nous avons étudié le cas où la gestion des équipements se fait à distance par une unité de supervision. Pour réparer les équipements, le scénario de fonctionnement permet de détailler les actions nécessaires. Dans le fonctionnement proposé figure 4.12, le boîtier de supervision se charge de récupérer l'information de l'état du réfrigérateur pour le transmettre à l'unité de supervision. Cette information est ensuite transmise au technicien (impliqué dans l'unité de maintenance) en charge de réparer le système. Dans ce scénario, le technicien se déplace selon les pannes qui peuvent survenir sur les différents équipements. Un véhicule doit alors être utilisé pour qu'il puisse effectuer ses déplacements. Avant de diagnostiquer le type de panne, le technicien se charge d'arrêter le système. L'enchaînement de ces activités est représenté dans la figure 4.12.

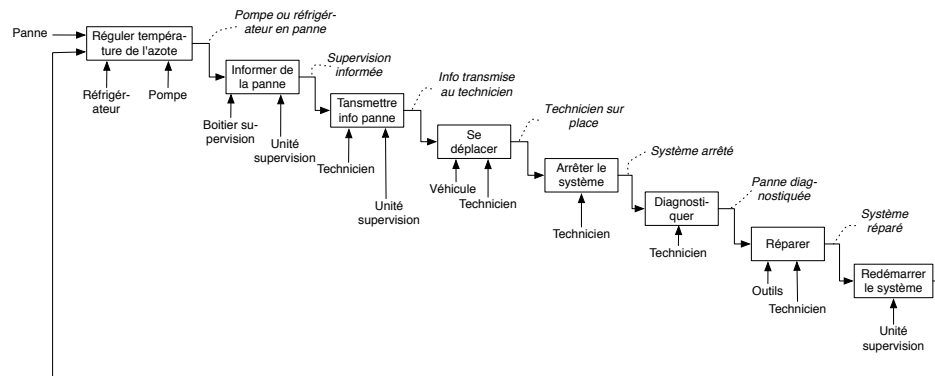


FIG. 4.12 – Gestion à distance : scénario de fonctionnement envisagé pour assurer le bon fonctionnement des réfrigérateurs

Cet enchaînement très linéaire des activités entraîne un temps de réponse assez conséquent avant de réparer les machines. La disponibilité requise par le client nécessite de minimiser le temps pendant lequel la machine est en performance dégradée et/ou arrêtée. Si nous traçons le chronogramme associé à ce scénario, il semble possible de pouvoir gagner du temps sur le cycle global pour réparer un équipement (voir figure 4.13).

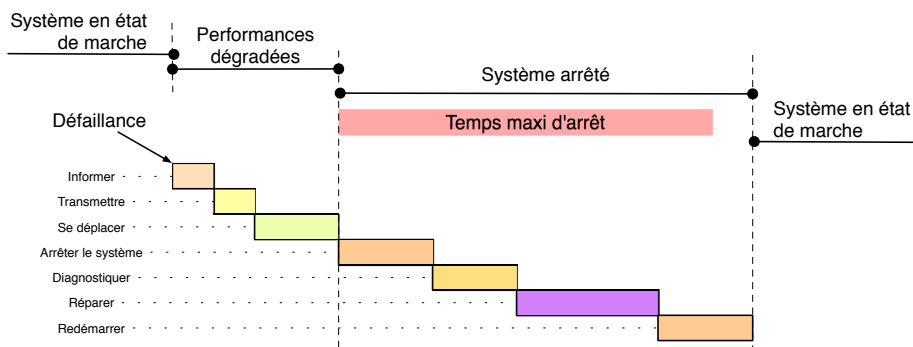


FIG. 4.13 – Gestion à distance : chronogramme relatif au fonctionnement envisagé pour assurer le bon fonctionnement

Afin de limiter le temps de réparation, une mise en parallèle de certaines activités a été réalisée. Ce sont les activités liées à la livraison d'information qui sont faites simultanément. Plutôt que l'unité de supervision se charge de transmettre les pannes qui se sont produites, le boîtier de supervision délivre cette information directement à la maintenance. De plus, le diagnostic n'est

plus fait par le technicien allant réparer le réfrigérateur, mais c'est le boîtier de supervision qui se charge de réaliser cette opération. Les informations étant livrées simultanément à la supervision et au technicien, l'activité d'arrêt de la machine est faite pendant que la maintenance se rend sur place. Avant de se déplacer pour aller réparer le système, le technicien connaît le type de panne et les interventions qui sont nécessaires pour la résoudre. Ce diagnostic réalisé par l'intermédiaire du boîtier de supervision peut également être couplé avec la commande de pièces détachées directement auprès du fournisseur de pièces. Une fois la maintenance sur site et le système arrêté, alors la panne est réparée avant que la maintenance ne redémarre le système. Ce scénario est présenté sous la forme du chronogramme de la figure 4.14.

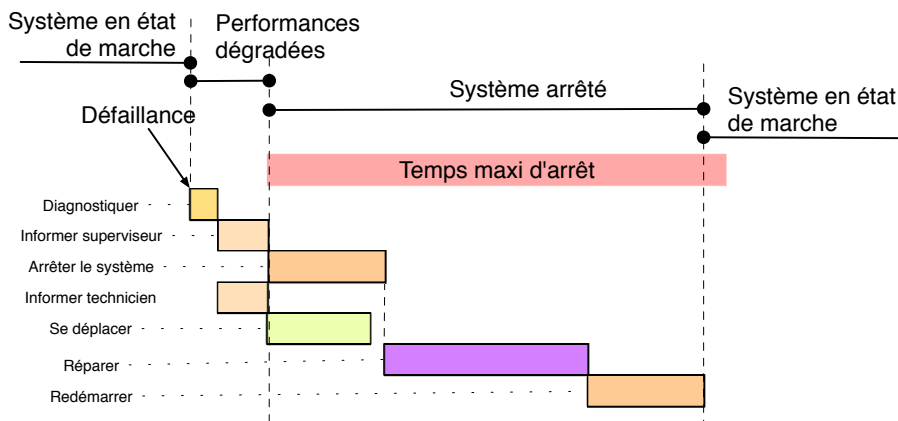


FIG. 4.14 – Gestion à distance : modification de l'enchaînement des activités pour réparer les réfrigérateurs

Selon les emplacements des équipements, la distance parcourue pour effectuer les réparations peut être plus ou moins longue. Cela conditionnera aussi le temps global pendant lequel le système sera arrêté. Dans la description du scénario précédent, l'unité de maintenance était composée de techniciens, des outils et de véhicules.

La représentation interne pour le système basé sur une gestion sur site est réalisée dans la figure 4.15. Dans cette représentation, on peut ainsi voir que l'élément principal est le boîtier de supervision. Ce boîtier doit permettre :

- d'informer à la fois l'unité de supervision et le technicien qu'une panne est survenue ;
- de réaliser le diagnostic de la panne ;
- d'arrêter et redémarrer le système.

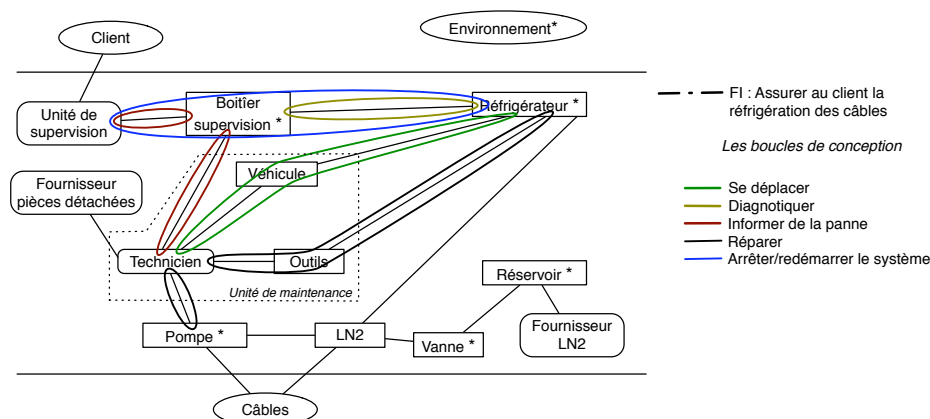


FIG. 4.15 – Scénario 1 : représentation interne du système assurant le bon fonctionnement des réfrigérateurs

L'unité de maintenance envisagée dans la représentation interne de la figure 4.8 est ainsi composée de technicien, d'outils et d'un véhicule pour se déplacer. D'un point de vue organisation des activités du système, nous avons vu la pertinence du chronogramme pour améliorer le critère temps global de réparation en mettant en parallèle certaines activités, mais il est maintenant nécessaire d'avoir une évaluation globale des solutions envisagées pour répondre à cette fonction. Les relations entre les paramètres des unités de service et des objets physiques impliqués dans cette boucle de conception ont été rassemblés dans le tableau de bord (voir figure 4.16).

Dans le cadre du véhicule utilisé pour se déplacer, le paramètre "consommation" aura une incidence sur le coût et la consommation d'énergie. Le paramètre émissions a un lien direct avec les rejets dans l'air. Le critère rejet dans l'air est par exemple fonction de :

$$\text{Emission air} = f(\% \text{ panne, nb de techniciens, km parcourus, nb de réfrigérateur, émissions/km, fréquence déplacement})$$

Ce critère dépend donc de paramètres objets physiques (% panne, émissions/km), de paramètres unités de service (nb de techniciens) et de paramètres système (nb de réfrigérateur). Le paramètre fréquence de déplacement est quant à lui lié au % panne des réfrigérateurs. En effet, plus le taux de pannes sera important, plus il sera nécessaire que l'unité de maintenance se déplace jusqu'au réfrigérateur pour les réparer. Le tableau de bord est utilisé pendant le processus de conception afin de déterminer les meilleurs éléments

				Critères externes															
Boucles de conception		Solutions	Paramètres solution		Temp. Fonct	Disponibilité	Efficacité Carnot	Coût	Diamètres câbles	Conso NRJ	Conso. Eau	Conso. mat. Prem	Rejets eau	Rejets air	Recyclabilité	Reach	DEEE	Temp. Moyenne	Humidité
Système géré à distance	Réparer les équipements	Réfrigérateur	Fiabilité	% panne	X	X	X		X									X	X
				% reconfiguration	X														
				Coût machine				X											
				Nb réfrigérateur	X	X		X											
		Technicien		Nb techniciens	X	X		X						X					
				Salaire				X											
				Temps pour réparer															
		Outils				X													
		Véhicule		Km parcours						X			X						
				Consommation					X		X						X		
				Temps pour se déplacer	X														
				Emissions/km											X				
		Boîtier supervision		Fréquence déplacement						X				X					
				Fréquence d'envoi info	X													X	
			Temps pour diagnostiquer	X															
Unité de supervision		Nb de machines supervisées			X	X													

FIG. 4.16 – Tableau de bord concernant les éléments impliqués dans la réparation des réfrigérateurs

pour satisfaire les critères externes du système. Dans le cadre de la boucle de conception réparer les réfrigérateurs, un véhicule est utilisé pour permettre au technicien de se déplacer sur site. Cet objet physique a un impact principalement sur le critère externe "émissions". Afin de minimiser les impacts du système, une des solutions envisagées a donc été d'utiliser une voiture plutôt que d'utiliser un camion. Moins de consommation, donc moins de rejet pour un trajet équivalent, cette solution technique permet donc de minimiser les émissions produites. A partir de ce tableau, l'équipe a pu déterminer un objet physique particulier. Néanmoins, un autre moyen de limiter les émissions est de diminuer les déplacements de l'équipe de maintenance. Pour cela, c'est sur la probabilité de panne de la machine que l'équipe de conception peut jouer pour permettre de limiter les déplacements. Concernant la disponibilité, celle-ci est fonction des paramètres de solution suivants :

$$\text{Disponibilité} = f(\% \text{panne}, \% \text{reconfiguration}, \text{nb de réfrigérateur}, \text{nb technicien}, \text{outils}, \text{boîtier supervision}, \text{unité de supervision})$$

A partir de ces relations, l'équipe de conception doit donc déterminer les paramètres de ces éléments pour satisfaire la contrainte de disponibilité.

4.2.5.2 Scénario 2 : quel fonctionnement pour effectuer les réparations sur le réfrigérateur ?

Nous avons ensuite étudié le cas où la gestion se fait sur site (scénario 2). Dans ce cas, une équipe est installée sur place à la fois pour modifier les performances de la machine afin de répondre aux besoins du client, mais également pour effectuer la réparation des équipements. Pour pouvoir réparer la machine, il est nécessaire de faire un certain nombre d'opérations. Le scénario de la figure 4.17 décrit ces différentes activités. Ainsi, avant de pouvoir réparer le système, il est d'abord nécessaire que l'équipe soit prévenue d'une panne avant de pouvoir arrêter le système, diagnostiquer la panne puis effectuer les réparations nécessaires avant de redémarrer le réfrigérateur.

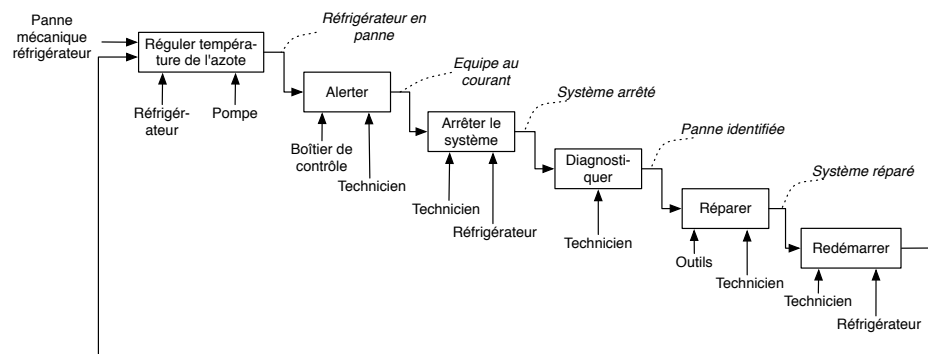


FIG. 4.17 – Scénario 2 : fonctionnement envisagé pour réparer le réfrigérateur lors d'une panne mécanique

Ce scénario peut donc être "traduit" à l'aide d'un chronogramme (voir figure 4.18). Par rapport à la contrainte de disponibilité requise par le client et dont nous avons discuté dans la partie 4.2.4.3, il est possible de définir un temps maximum d'arrêt autorisé pour les réfrigérateurs. Ainsi, en établissant ce chronogramme, cela permet au concepteur de modéliser le temps total pendant lequel le système sera arrêté ou bien pendant lequel le système aura des performances dégradées. Néanmoins, ce type de gestion sur site ne met pas d'activités en parallèle. Aussi, pour diminuer le temps d'arrêt de la machine, le seul paramètre qui peut faire gagner du temps est de diminuer le temps de réparation. Par conséquent, ce scénario ne sera pas retenu dans l'étude finale.

Les éléments impliqués dans cette boucle de conception sont un technicien, des outils et le boîtier de contrôle. Par exemple, on sait que l'équipe sur site devra avoir des outils pour pouvoir faire les réparations sur la machine.

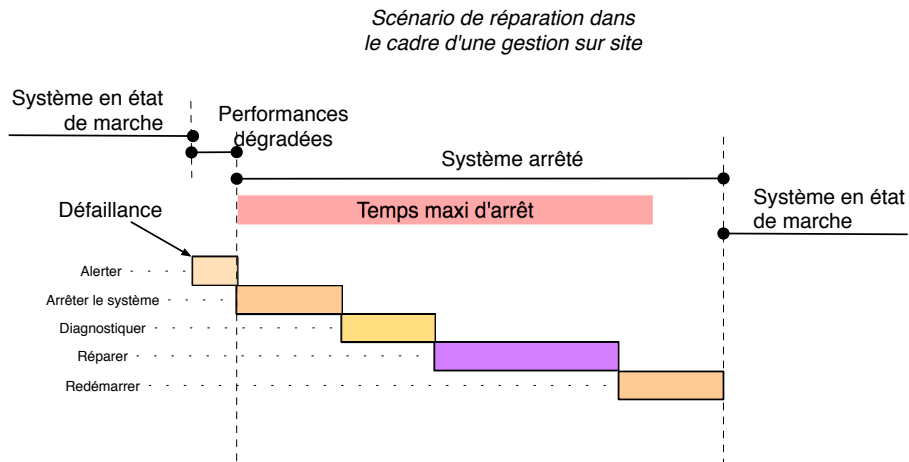


FIG. 4.18 – Scénario 2 : chronogramme associé à la réparation d'un réfrigérateur

La modélisation interne faite figure 4.19 montre les liens qui existent entre ces différents éléments.

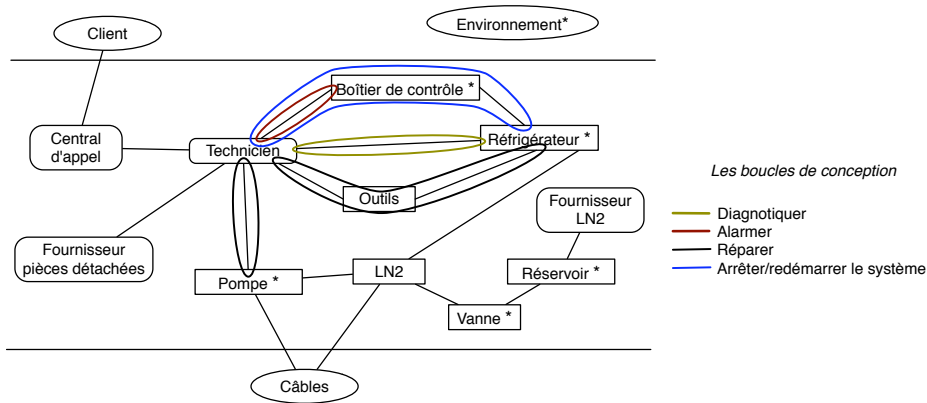


FIG. 4.19 – Scénario 2 : représentation interne du système pour assurer le bon fonctionnement des équipements

Dans le cadre de l'évaluation de la boucle de conception "réparer les équipements", le tableau de bord proposé figure 4.20 est enrichi des objets physiques et personnes impliquées dans les unités de service qui sont apparus dans le scénario. Ainsi, les outils, l'alarme et le technicien intervenant pour réparer les réfrigérateurs sont mis en avant dans ce tableau. Chacun de ces

éléments a un impact sur les critères externes. Prenons l'exemple des techniciens. Les techniciens installés sur site sont donc mobilisés sur place pour palier aux problèmes techniques qui peuvent survenir. Ces personnes mobilisées ont donc un coût économique (salaire, nb de personnes, frais annexes). Ainsi, la solution "technicien" aura une influence sur le coût global de la solution ainsi que sur la disponibilité. Concernant les réfrigérateurs impliqués dans le système, les probabilités de panne et de reconfiguration auront quant à eux une influence sur la disponibilité.

				Critères externes															
Boucles de conception		Solutions	Paramètres de solution		Temp. Fonct	Disponibilité	Efficacité Carnot	Coût	Diamètres câbles	Conso NRJ	Conso. Eau	Conso. mat. Prem	Rejets eau	Rejets air	Recyclabilité	Reach	DEEE	Temp. Moyenne	Humidité
Système géré sur site	Réparer les équipements	Réfrigérateur	Fiabilité	% panne	X	X												X	X
				% reconfiguration	X	X													
				Coût machine	X	X													
				Nb réfrigérateur	X	X			X	X	X	X	X						
		Alarme			X														
				Nb technicien	X	X													
		Technicien		Salaire		X													
				Temps pour réparer	X														
		Outils			X	X													
					X	X													

FIG. 4.20 – Tableau de bord de la boucle de conception

Si l'on veut maintenant regarder quels sont les éléments à prendre en compte pour évaluer le critère externe coût, relatif à la boucle de conception, le concepteur est alors en mesure de dire que ce critère est fonction de :

$$\text{Coût} = f(\text{Coût machine}, \text{Nb réfrigérateur}, \text{Nb technicien}, \text{salaire des technicien})$$

Si l'on se penche maintenant sur la disponibilité du réfrigérateur, on peut voir que ce critère dépendra de :

$$\text{Disponibilité} = f(\% \text{ panne}, \% \text{ reconfiguration}, \text{nb de réfrigérateur}, \text{nb de technicien}, \text{temps pour réparer}, \text{outils})$$

Nous comparons ce système basé sur une gestion sur site avec le système basé sur une gestion à distance dans la partie 4.2.5.3.

4.2.5.3 Bilan

La description de ces 2 fonctionnements/organisations pour répondre à la fonction technique "Réparer les équipements" a permis de mettre en évidence

la pertinence du lien qui existe entre les activités, les fonctions et les solutions.

Système basé sur une gestion sur place. Aux regards des hypothèses faites dans la partie 4.2.1, nous avons fait une étude sur une portion de 20 km. Pour refroidir cette portion, 10 réfrigérateurs sont nécessaires. Pour un binôme de 2 techniciens, le temps total d'arrêt de la machine est de 4h30 (1h arrêt + 2h30 réparation + 1h redémarrage). Dans le cadre d'une gestion sur site, 1 seul technicien sera mobilisé par machine. Le temps de réparation sera alors de 3h30 au lieu des 2h30 prévue pour 2 techniciens. Ce technicien sera en charge de :

- adapter les performances de la machine aux besoins du client ;
- reconfigurer la machine en cas de défaillance du process thermodynamique ;
- réparer la machine en cas de panne mécanique.

Dans la boucle de conception réparer les équipements, nous avons dit précédemment que la disponibilité dépendait de paramètres du réfrigérateur (% panne, % reconfiguration), de paramètres des unités de service (nb de technicien, temps pour réparer) et de paramètres système (nb de réfrigérateur). Dans le cadre d'une gestion sur site les paramètres suivants sont fixés :

- nombre de techniciens = 1 ;
- temps pour réparer = 5h30 (comprenant les temps d'arrêt et de redémarrage) ;
- nombre de réfrigérateurs = 10.

Pour répondre à la contrainte de disponibilité, il reste donc à déterminer le % de pannes ainsi que le % de reconfiguration. Sachant que l'on autorise seulement 17h de non-fonctionnement du système, cela se produit uniquement lorsque 2 machines sont en panne. L'autre incertitude concerne l'indépendance des pannes. En effet, tant que les pannes restent indépendantes les unes des autres, il n'y a pas de problème d'indisponibilité du système. Néanmoins, la seule étude de la disponibilité n'est pas suffisante. Il est également de regarder des critères tels que le coût de cette solution, les émissions, la consommation d'énergie, etc. Le choix des paramètres de solution à partir du critère de disponibilité peut être un premier élément de réponse mais il est ensuite nécessaire de vérifier que les paramètres des solutions retenues sont en accord avec les autres critères externes.

Système basé sur une gestion à distance. En passant sur une solution de gestion à distance des équipements, le boîtier de supervision a donc un rôle central.

Comme pour le système géré sur place, nous partons des éléments fixés dans l'étude du tronçon de la partie 4.2.1. Dans le cadre du système géré à distance, le critère coût sur les techniciens investis dans l'unité de maintenance sera peut-être moins important que dans le cadre où une équipe est installée sur site. Mais le critère lié aux émissions dues au transport des techniciens sera probablement plus important, surtout si les techniciens ont à s'occuper de plus de machines et par conséquent parcourir plus de kilomètres pour aller dépanner les machines. Afin de limiter ce critère, il a été envisagé que les techniciens n'interviennent pas plus d'une fois par semaine sur le tronçon. De plus, étant employés dans d'autres missions de maintenance, ils ne peuvent pas être mobilisés entièrement sur le système. Les paramètres à prendre en compte pour réaliser l'évaluation sont donc :

- Nb de machines = 10
- Nb de techniciens = 2
- Temps pour réparer = 4h30
- Fréquence d'intervention = au plus 1 fois par semaine

Le dernier paramètre de fréquence d'intervention peut donc se traduire en termes de pourcentage de panne. Comme nous avons 10 machines, et en faisant la très forte hypothèse que les pannes sont indépendantes, alors le pourcentage de panne par machine pour ce tronçon de 10 machines doit être au minimum de 1/70. Cette première approximation peut être ajustée en fonction du temps que le technicien met pour réparer. En effet, si on considère que les pannes se produisent toutes le même jour, et sachant que les techniciens mettent 4h30 pour réparer une machine, sur une journée de 8h il est alors possible d'autoriser une probabilité de panne plus grande. A ce stade de l'évaluation, il fallait donc faire appel à un spécialiste de la maintenance pour déterminer les paramètres des objets physiques et unités de service impliqués dans ce scénario.

4.3 Conception détaillée d'un élément du système

Nous nous sommes focalisés dans cette partie sur l'extraction des spécifications et boucles de conception qui impliquent le boîtier de contrôle des machines. Dans le système géré sur site, un boîtier de contrôle est utilisé dans la boucle de conception "modifier les performances du système" (voir figure 4.9 page 139). Ce boîtier permet simplement au technicien sur place de modifier quelques paramètres du process thermodynamique du réfrigérateur. Comparativement au boîtier de supervision évoqué dans le système géré à distance, les attentes sur cet objet physique sont plus importantes. C'est ce que nous détaillons dans la partie suivante cet objet.

4.3.1 Extraction d'un objet physique en vue de sa conception

Dans le cadre du système géré à distance, le boîtier de supervision est l'élément central qui gère notamment les informations sur l'état du système pour les transférer à l'unité de supervision et au technicien réalisant la maintenance. Ce boîtier permet également à la supervision de pouvoir arrêter et redémarrer le réfrigérateur à distance. Dans les scénarios de fonctionnement relatifs à l'approvisionnement en LN2 et en pièces détachées, l'équipe de conception a choisi de centraliser et d'envoyer les informations aux fournisseurs par l'intermédiaire du boîtier de supervision.

A partir de ces différentes fonctions attendues, nous pouvons faire une modélisation externe du boîtier de supervision afin de détailler les fonctions de service attendues de cet objet. Dans le bloc diagramme fonctionnel de la figure 4.15, le boîtier est en relation avec les éléments suivants :

- le réfrigérateur ;
- le technicien de l'unité de maintenance ;
- l'unité de supervision.

Dans la boucle de conception "approvisionner en consommables" (qui n'est pas détaillé dans ce document), le boîtier est en relation avec le fournisseur de pièces détachées pour l'informer des pièces à livrer. De plus, le fournisseur de LN2 est aussi en relation avec le boîtier qui l'informe de venir approvisionner en LN2 ainsi qu'avec le réservoir de LN2 pour contrôler le niveau de LN2. L'ensemble des ces éléments impliqués dans le SPS HTS vont donc être considérés durant la conception détaillée du boîtier comme des éléments extérieurs. L'analyse externe menée dans le cadre du développement de ce boîtier est assimilable au développement "classique" d'un objet physique.

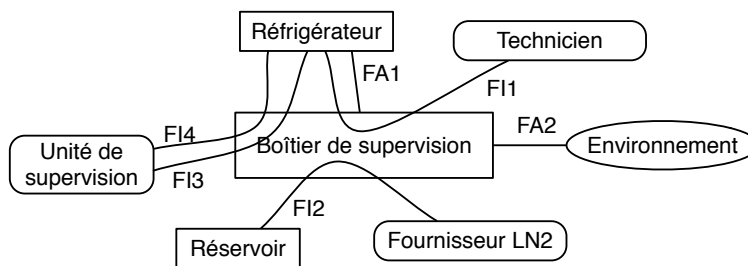


FIG. 4.21 – Graphe des interacteurs de l'objet physique "boîtier de supervision"

Dans le graphe des interacteurs de la figure 4.21, le boîtier de super-

vision étudié est en interaction avec les différents milieux extérieurs cités précédemment. en termess de représentation, nous avons conservé le formalisme utilisé dans le bloc diagramme fonctionnel pour représenter les objets physiques (rectangle) et les unités de service (rectangle aux coins arrondis). Cela signifie qu'ils sont en cours de conception et donc négociables. Les environnement extérieurs identifiés lors de la représentation du système dans son environnement (voir figure 4.8, page 137) sont également présents sous leur forme "classique" (par une ellipse). Au regard des fonctions techniques et activités décrites dans les scénarios de fonctionnement, il est alors possible de décrire les fonctions de service attendues du boîtier de supervision :

- FI1 : le boîtier permet d'informer le technicien d'une panne sur le réfrigérateur ;
- FI2 : le boîtier permet d'informer le fournisseur de LN2 de venir remplir le réservoir ;
- FI3 : le boîtier de supervision permet d'informer l'unité de supervision de l'état du réfrigérateur ;
- FI4 : le boîtier de supervision permet à l'unité de supervision d'arrêter et redémarrer le réfrigérateur ;
- FA1 : diagnostiquer la panne sur le réfrigérateur ;
- FA2 : résister aux contraintes de l'environnement dans lequel il est installé.

4.3.2 Relation entre les éléments extérieurs et l'objet développé

Dans le cadre du développement d'un élément particulier dans un SPS, il est nécessaire de garder les relations qui existent entre ces éléments. Pour garder ces relations, nous proposons de regrouper les critères et niveaux des objets physiques et unités de service dans un tableau de caractérisation. Dans le cadre du développement du boîtier de supervision, les milieux extérieurs au boîtier mais qui sont dans le système sont :

- le réservoir de LN2 ;
- le fournisseur de LN2 ;
- le technicien en charge des réparations ;
- le réfrigérateur ;
- l'unité de supervision.

Seul l'environnement dans lequel est installé le boîtier fait partie des milieux extérieurs "imposés" du contexte du système. Pour chacun de ces éléments, des paramètres de solution ont été déterminés pour répondre aux critères externes du système. Les paramètres de ces éléments sont rassemblés

Élément	Paramètre	Niveau
Réfrigérateur	% panne	10%
	% reconfiguration	90%
	Durée de vie	20 ans
	...	...
Technicien	Nb de techniciens	4
	Temps pour réparer	1h30
	...	...
Réservoir	Volume	500 litres
	Niveau d'alerte	100 litres
	...	...
Fournisseur LN2	...	...
Unité de supervision	...	...

TAB. 4.2 – Paramètres des éléments en relation avec le boîtier de supervision

dans le tableau 4.2.

La différence fondamentale dans ce processus de développement est qu'il est maintenant essentiel de tenir compte des paramètres des objets physiques ou unités de services qui ont été décidés lors de l'analyse système. Ces paramètres imposés par les autres éléments du système vont donc "forcer" le concepteur à proposer de nouvelles solutions techniques pour répondre aux fonctions attendues par l'objet à développer.

La fonction d'adaptation "diagnostiquer le réfrigérateur" a été étudiée par l'équipe de conception. L'hypothèse faite dans l'analyse système était que le boîtier était en charge de réaliser cette opération. A partir de cette hypothèse, le nombre de technicien ainsi que les % de panne et reconfiguration étaient basés sur cette hypothèse. Après une étude des différentes possibilités techniques, il a été conclu qu'une telle fonction ne pouvait être réalisée par le boîtier de supervision. Par conséquent, l'équipe de conception a été dans l'obligation de revoir les paramètres des éléments en relation avec le boîtier. En effet, le diagnostic devait maintenant être fait par le technicien, ce qui entraînait un temps total de réparation plus long que ce qui avait été prévu. Pour compenser ce temps plus important, un nombre plus important de technicien a été déterminé. Mais cette augmentation du nombre de techniciens a aussi eu une conséquence sur le nombres de véhicules impliqués générant ainsi plus d'émissions lors des déplacements sur site pour réparer les équipements.

4.3.3 Bilan

L'extraction d'un élément du système en vue de sa conception détaillée a donc remis en cause un certain nombre de paramètres qui avaient été déterminés lors de l'analyse du système. La non-réalisation par le boîtier de supervision a donc conduit l'équipe de conception à revoir à la hausse le nombre de techniciens pour effectuer la maintenance globale du système. Le découpage du système en objets physiques et unités de service ne doit pas laisser de côté les relations qui existent entre les différents éléments.

4.4 Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre l'apport de notre méthodologie en termes de structuration du processus de conception. De plus, l'évaluation du système ne peut se faire qu'en construisant petit à petit les différents éléments impliqués dans le système. Les liens entre les critères externes et les paramètres de solutions sont réalisés par l'intermédiaire d'un tableau de bord. Ce qui est à souligner dans cette partie est la complexité de faire une évaluation globale sur l'ensemble du système. Pour chacune des boucles de conception et de solutions envisagées, les critères externes vont être multi-dépendants des paramètres de solutions des différentes solutions. Nous avons étudié la boucle de conception "réparer les équipements", mais le boîtier de supervision tel qu'il peut être envisagé dans le cadre d'une gestion à distance peut également être utilisé dans la boucle de conception "approvisionner en consommable" afin d'avertir le fournisseur de LN2 ou de pièces détachées de livrer respectivement le LN2 ou bien les pièces nécessaires à la réparation des équipements.

Dans la partie 4.3.1 extraction d'un élément de solution, nous nous sommes attachés à décrire le début du processus de conception détaillée pour l'objet physique "boîtier de supervision". Nous avons montré à travers le graphe des interacteurs de la figure 4.21 le développement de l'objet en question dépendait des liens existants avec les autres éléments du système. En fixant les paramètres de solutions des différents éléments impliqués dans le système, on contraint le concepteur à innover. Dans le cadre du développement du boîtier de supervision, beaucoup de fonctions doivent être réalisées. En fixant ces fonctions, on a également pu établir les paramètres des solutions concernant par exemple le réfrigérateur et l'unité de maintenance. Mais une des fonctions attendues par le boîtier n'a pas pu être réalisée, alors il a été nécessaire de revoir les paramètres que l'on avait fixés pour les 2 éléments réfrigérateur et unité de maintenance. Par conséquent, le développement dé-

taillé des éléments impliqués dans ces systèmes peut conduire à remettre en cause des paramètres que l'on avait fixés sur d'autres éléments. Il est ainsi nécessaire de trouver des compromis entre les différents éléments impliqués dans le système, tout en s'assurant de respecter les critères externes que doit remplir le système.

Enfin, le point critique dans cette étude a été le fait que l'on ne connaissait pas les relations de dépendances entre les pannes. Tant qu'un seul équipement était en panne, le système restait disponible. Par conséquent, l'implication d'un expert maintenance dans le processus de conception devait être nécessaire. Néanmoins, pour limiter ces effets et assurer au maximum la disponibilité du système, le fournisseur a envisagé d'installer des réfrigérateurs redondants sur la ligne.

Conclusion

Les questions de recherche traitées

L'émergence de ces nouveaux systèmes produits-services nous a conduit à remettre en question la conception des objets physiques impliqués dans ces systèmes. Pour les concepteurs de produits mécaniques, le problème de conception ne doit pas se limiter aux objets physiques car c'est bien une approche plus globale qui est nécessaire. Les moyens de représentation utilisés pour la conception de ces systèmes doivent donc permettre aux concepteurs de faire apparaître les liens et relations qui existent entre les différents éléments du système. Le processus de conception des systèmes produits-services a également été remis en cause avec en particulier la mise en place d'évaluations dans les phases amont du processus de conception.

Contributions identifiées

Les méthodologies de conception existantes trouvent leurs limites dans le cadre du développement de ces systèmes produits-services. Les méthodologies orientées "produit" sont trop focalisées sur le produit pour pouvoir prendre en compte l'ensemble des éléments participants à la réalisation des fonctions attendues par le système. Les méthodologies "service" sont quant à elles principalement basées sur la représentation globale de l'organisation à mettre en place pour délivrer un service. Des méthodes telles que la représentation blueprint sont généralement utilisées mais ne permettent pas de donner des paramètres de solutions pour les objets physiques ou les unités de service impliqués dans ces systèmes. Les méthodologies orientées "système" traitent généralement des systèmes mécaniques complexes. Elles permettent de découper le système en différents sous-systèmes permettant ainsi le dé-

veloppement concourant des sous-systèmes. Néanmoins, ces méthodologies sont généralement focalisées sur des objets physiques et peu sur les services techniques qui peuvent être utilisés pour par exemple dépanner un élément, aider le client, etc.

La méthodologie développée dans cette thèse contribue à l'émergence de pratiques structurées dans le cadre de la conception de ces systèmes. Les apports identifiés dans cette méthodologie sont :

Une approche par les fonctions et par les activités : dans cet apport, l'utilisation de scénarios est particulièrement importante car elle permet de structurer. De plus, nous mettons en avant que lors de la conception de tels systèmes, il est nécessaire d'étudier des fonctions techniques spécifiques aux SPS. Ces fonctions se retrouvent dans la majorité des systèmes que nous avons étudiés. Ceci permet d'amener le concepteur à s'interroger sur un certain nombre de fonctions qui n'étaient pas étudiées lors de la conception de produits physiques, ou bien après qu'ils aient été développés. La prise en compte dans les phases amonts de la conception de fonctions telles que l'assurance du bon fonctionnement du système, la disponibilité du système, l'accessibilité du système va ainsi permettre de faire émerger un certains nombres de principes de solutions (qui peuvent être des objets physiques ou des unités de service). L'autre apport essentiel de cette thèse concerne l'utilisation de scénarios de fonctionnement. Ceci permet aux concepteurs de déterminer le fonctionnement en interne, d'organiser les éléments entre eux et de capitaliser toutes ces informations qui jusqu'à présent n'étaient que peu formalisées.

La représentation globale du système : pour assurer le bon développement de ces systèmes d'une manière globale, il est nécessaire de ne pas se focaliser uniquement sur les objets physiques impliqués dans ces systèmes. Le problème de conception n'est donc plus uniquement centré sur les produits physiques, mais il est nécessaire d'élargir cette étude, et par conséquent les représentations faites à une vue système. Pour représenter ces systèmes, nous nous basons sur des modélisations de l'analyse fonctionnelle avec le graphe des interacteurs et le bloc diagramme fonctionnel. Notre apport dans ces représentations concerne la symbolique utilisée pour représenter les objets physiques et les unités de service dans la représentation interne. Cette symbolique est reprise dans l'analyse externe des éléments afin de montrer aux concepteurs que certains milieux extérieurs sont "négociables".

Le lien entre la vue "système" et la vue "produit" : une étude globale sur le système est nécessaire pour pouvoir détailler les relations

et interactions existants entre les différents éléments impliqués dans le système. A partir de ces relations, et en vue de la conception détaillée des objets physiques impliqués dans ces systèmes, il est nécessaire de se centrer de nouveau sur l'objet à concevoir. Mais dans ce focus, le lien avec les autres éléments en relation avec ce dernier doivent être gardés. En effet, si les performances identifiées dans l'étude "système" ne peuvent pas être atteintes lors de la conception de l'objet, alors on peut renégocier le niveau de ces performances en renégociant les performances des éléments en relation. Aussi, notre méthodologie contribue à la structuration de la démarche entre l'analyse système et la conception détaillée des objets physiques impliqués dans ces systèmes.

L'évaluation L'évaluation de tels systèmes durant les phases amont de la conception n'est pas triviale. Notre proposition est de mettre en place un tableau de bord faisant le lien entre les critères externes du système (les critères et niveaux du cahier des charges) et les solutions envisagées dans les boucles de conception. Nous avons volontairement pris les boucles de conception comme références pour faire la comparaison entre les différentes alternatives de solution envisagées au cours de la conception.

L'application de la méthodologie dans le cadre d'un projet industriel a permis de montrer la pertinence de la structuration du processus de conception, passant d'une analyse système à une analyse des éléments impliqués dans ces systèmes.

Perspectives

Les systèmes produits-services sont aujourd'hui une des thématiques étudiés dans le cadre de recherches en conception. La création du groupe de travail international *International PSS Design Research Community* ainsi que le groupe CIRP sur les *Industrial Product-Service Systems* montrent l'intérêt qui est porté par les communautés scientifiques travaillant sur la conception des SPS. En accord avec les travaux de ces 2 groupes, ce travail de recherche a conduit à la proposition d'une méthodologie de conception supportant les concepteurs durant le processus de conception. Cette méthodologie, structurée autour de modes de représentations et de la mise en place de scénarios, fait émerger de futures pistes de recherche pour le développement de ces systèmes.

Complexité et dépendance des paramètres de solutions

Comme nous avons pu le démontrer, ces systèmes produits-services sont complexes de par les relations qui existent entre les différents éléments. Les objets physiques et unités de service doivent donc être développés de manière conjointe. L'évaluation que nous proposons dans ce travail porte sur l'étude des boucles de conception du système. Mais une très forte dépendance entre les éléments et avec les critères externes identifiés du système existe. Une perspective envisagée pour améliorer le développement de ces système concerne donc une plus grande intégration des relations entre les critères externes, critères internes et paramètres des objets physiques et unités de service. Dans le cadre de la thèse de Claros-Salinas (2008), des travaux sont menés pour suivre l'évolution des exigences techniques et des exigences des partenaires impliqués durant le processus de conception. Ainsi, une intégra-

tion de ces travaux de thèse dans le cadre du développement des SPS pourrait apporter aux concepteurs une vision plus nette des relations existantes entre les critères.

Evaluation des systèmes produits-services par rapport au développement durable

Lorsque nous avons évoqué ce point dans la partie 2.2.4.2 page 63, nous avons souligné que c'était pendant la phase de conception conceptuelle que le concepteur avait les possibilités les plus importantes pour intégrer des aspects économiques, écologiques et sociaux. Néanmoins, pour pouvoir évaluer ces systèmes, il est nécessaire de s'appuyer sur des paramètres tangibles. Une des principales perspectives de ce travail concerne donc l'évaluation systématique de ces systèmes par rapport au développement durable.

L'émergence de l'économie de services et des systèmes produits-services doit permettre de réaliser un découplage entre les impacts environnementaux et la satisfaction des clients. Du point de l'évaluation des SPS, il faudrait développer plus spécifiquement des indicateurs environnementaux permettant de comparer des stratégies différentes. Par exemple, est-il plus pertinent du point de vue écologique de développer un systèmes produits-services, ou bien un produit remanufacturé serait-il préférable ? Cette perspective est déjà en cours d'étude puisqu'une nouvelle thèse de doctorat débute pour étudier ces aspects dans le cadre d'un partenariat industriel.

L'aspect économique des systèmes produits-services doit également être pris en considération lors de l'évaluation. Pour aller plus loin dans cette perspective, un travail sur l'acceptation du client à se tourner vers ces nouveaux modes de consommation pourrait être envisagée. L'acceptation économique doit être envisagée, mais également l'acceptation de non-propriété doit être étudiée. Nous pensons que les entreprises sont plus détachées de cette notion de propriété tant que la performance requise est atteinte. Mais dans le cadre d'un marché "Entreprise – Client" (B2C), cette notion devient plus complexe à manipuler.

Le volet social du développement durable a été largement négligé par les concepteurs car n'étant pas une spécialité des concepteurs. Néanmoins, l'évaluation des SPS du point du vue du développement durable ne peut être réalisée sans tenir compte de cet aspect. Ces aspects doivent donc être étudiés et intégrés au plus tôt durant le processus de conception.

Optimisation des organisations

Le développement des systèmes produits-services peut s'appuyer sur des services déjà présents au sein de l'entreprise. En effet, des services tels que la maintenance peuvent déjà être présent et en place pour réaliser des opérations sur des produits chez des clients. Dans le cas de l'exemple Vélo'v, la société gérant ce système a également en charge la gestion des espaces publicitaires de la ville dans laquelle est implanté le système. Par conséquent, des éléments pré-existants au système, tels qu'une flotte de camions, peuvent être réutilisés pour effectuer certaines activités au sein du SPS. Ceci nous amène donc à envisager un meilleur couplage entre l'organisation envisagée pour le système et la répartition des ressources déjà existantes. Cette perspective rejoint les travaux de Meier et Krug (2008) sur la gestion des ressources dans le cadre des SPS industriels. De plus, l'existence de partenariats conduit à des alliances entre les entreprises. Cette identification des partenaires doit donc devenir systématique et doit être intégrée dans la méthodologie que nous avons proposée.

De plus, des approches actuellement traitées au sein du laboratoire sur l'optimisation des systèmes de production peuvent également être utilisées pour concevoir ces systèmes produits-services. Si nous regardons le cas industriel que nous avons traité, des améliorations et de nouvelles propositions d'organisations industrielles peuvent être proposées aux concepteurs pour par exemple optimiser le réapprovisionnement en azote liquide. L'objectif serait de trouver un compromis entre la capacité du réservoir à installer, le nombre de déplacements maximum à faire par le fournisseur de LN2 afin de limiter les émissions de CO_2 pour le coût le plus bas possible.

Les flux d'informations

La gestion des informations dans les systèmes produits-services est un élément essentiel permettant à la fois d'engranger de la connaissances sur la manière dont est utilisé le système (voir par exemple (Seliger *et al.*, 2008)), mais est également utile pour assurer le fonctionnement en interne du système. La modélisation des flux d'informations pour montrer comment est traitée une information de panne, de réapprovisionnement, etc., est une piste de recherche intéressante pour pouvoir intégrer dès les phases amont de la conception l'organisation du système d'information. Trois axes de recherche ont également été traités pour favoriser l'implantation de l'information dans le cadre de la conception de systèmes produits-services (Ball *et al.*, 2006) :

1. La représentation avancée du produit et le management d'information
2. L'accumulation de connaissances liées à l'utilisation du SPS
3. La gestion de la connaissance sur l'ensemble du cycle de vie du système support aux processus de prise de décisions.

Ces 3 axes de recherche doivent donc être mis en place dans le processus de conception.

La valeur

"Last but not least", la valeur retirée de ces systèmes doit être clairement identifiée. La valeur telle qu'elle est définie par Miles n'est pas suffisante dans le cadre des SPS. Des valeurs affectives, cognitives, écologiques pourraient être identifiées durant le processus de conception de ces systèmes. L'idéal serait de pouvoir tracer cette valeur durant le processus de conception et/ou de la traduire à l'aide de critères, niveau et flexibilité.

Bibliographie

- AFNOR (1991). Nf x50-151 : Expression fonctionnelle du besoin et du cahier des charges fonctionnel. Norme française, AFNOR.
- AFNOR (1996). Nf x50-100 : Analyse fonctionnelle - caractéristiques fondamentales. Rapport technique, AFNOR.
- ALONSO-RASGADO, T. et THOMPSON, G. (2006). A rapid design process for total care product creation. *Journal of Engineering Design*, 17(6):509–531.
- ALONSO-RASGADO, T., THOMPSON, G. et ELFSTRÖM, B.-O. (2004). The design of functional (total care) products. *Journal of Engineering Design*, 15(6):515–540.
- ANDREASEN, M. M. et HEIN, L. (2000). *Integrated Product Development*. Institute for Product Development.
- ANTON, A. I. et POTTS, C. (1998). A representational framework for scenarios of system use. *Requirements Engineering*, 3(3):219–241.
- AURICH, J., FUCHS, C. et WAGENKNECHT, C. (2006). Life cycle oriented design of technical product-service systems. *Journal of Cleaner Production*, 14(17):1480–1494.
- AURICH, J., SCHWEITZER, E. et FUCHS, C. (2007). Life cycle management of industrial product-service systems. In TAKATA, S. et UMEDA, Y., éditeurs : *14th CIRP conference on life cycle engineering*, pages 171–176, Tokyo. Springer.
- BALL, A., PATEL, M., MCMAHON, C., CULLEY, S., GREEN, S. et CLARKSON, J. (2006). A grand challenge : Immortal information and through-life knowledge management (kim). *The International Journal of Digital Curation*, 1(1):53–59.
- BHAMRA, T., EVANS, S., van der ZWAN, F. et COOK, M. (2001). Moving from eco-products to eco-services. *Journal of Design Research*, 1(2).

- BORDELEAU, F., CORRIVEAU, J. et SELIC, B. (2000). A scenario-based approach to hierarchical state machine design. *In Third IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC 2000)*., pages 78–85.
- BOUGHNIM, N. et YANNOU, B. (2005). Using blueprinting method for developing product-service systems. *In SAMUEL, A. et LEWIS, W.*, éditeurs : *International Conference on Engineering Design*, Melbourne.
- BOURG, D. et BUCLET, N. (2005). Changer la consommation dans le sens du développement durable : la voie de l'économie de fonctionnalité. *Futuribles*, 313:27–37.
- CARROLL, J. (2000). *Making use : scenario-based design of human-computer interactions*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- CLAROS-SALINAS, M. P. (2008). *La gestion des exigences dans le processus de conception*. Thèse de doctorat, Grenoble INP, Laboratoire G-SCOP.
- CONGRAM, C. et EPELMAN, M. (1995). How to describe your service - an invitation to the structured analysis and design technique. *International Journal of Service Industry Management*, 6(2):6–23.
- COOK, M., BHAMRA, T. et LEMON, M. (2006). The transfer and application of product service systems : from academia to uk manufacturing firms. *Journal of Cleaner Production*, 14(17):1455–1465.
- DELAFOLLIE, G. (1991). *Analyse de la valeur*. Hachette, Paris.
- DONALDSON, K., ISHII, K. et SHEPPARD, S. (2006). Customer value chain analysis. *Research in Engineering Design*, 16(4):174–183.
- EIGLIER, P. et LANGEARD, E. (1994). *Servuction : le marketing des services*. Ediscience International, Paris.
- FLECK, U., VOGEL, D. et ZIEGLER, B. (2002). Cooling of hts applications in the temperature range of 66 k to 80 k. *In ADVANCES IN CRYOGENIC ENGINEERING : Proceedings of the Cryogenic Engineering Conference - CEC*, volume 613, pages 188–198.
- FLIESS, S. et KLEINALTENKAMP, M. (2004). Blueprinting the service company : Managing service processes efficiently. *Journal of Business Research*, 57(4):392–404.
- GÉHIN, A. (2008). *Conception de produits durables*. Thèse de doctorat, Grenoble INP, Laboratoire G-SCOP.

- GIARINI, O. et STAHEL, W. (1990). *Les limites du certain : affronter les risques dans une nouvelle économie de services*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2ème édition.
- GOEDKOOP, M., van HALEN, C., RIELE, H. T. et ROMMENS, P. (1999). Product service systems - ecological and economical basics. Rapport technique, Pré Consultants.
- GUMMESSON, E. (1993). *Quality Management in Service Organizations ; An Interpretation of the Service Quality Phenomenon and a Synthesis of International Research*. International Service Quality Organisation.
- HALME, M., ANTTONEN, M., HRAUDA, G. et KORTMAN, J. (2006). Sustainability evaluation of european household services. *Journal of Cleaner Production*, 14(17):1529–1540.
- HALME, M., JASCH, C. et SCHARP, M. (2004). Sustainable homeservices ? toward household services that enhance ecological, social and economic sustainability. *Ecological Economics*, 51(1-2):125–138.
- HARA, T., ARAI, T. et SHIMOMURA, Y. (2008). Integrating function model and activity model for design of service. In *Manufacturing systems and technologies for the new frontier : Proceedings of the 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, pages 531–536.
- HERTWICH, E. G. (2005). Consumption and the rebound effect : An industrial ecology perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2):85–98.
- HERTZUM, M. (2003). Making use of scenarios : a field study of conceptual design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(2):215–239.
- HIRSCHL, B. et ESCHENBÄCHER, J. (2000). Extended products in dynamic enterprises : The ist project cluster expide. In STANFORD-SMITH, B. et KIDD, P. T., éditeurs : *eBusiness and eWork*, volume Virtual and Extended Enterprises, Madrid.
- HIRSCHL, B., KONRAD, W. et SCHOLL, G. (2003). New concepts in product use for sustainable consumption. *Journal of Cleaner Production*, 11(8): 873–881.
- ISO (2002). Iso/tr 14062 :2002, management environnemental - intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits. Rapport technique, Organisation Internationale de Normalisation.

- JACOBSSON, N. (2000). *Emerging Product Strategies : Selling Services of Remanufactured Products*. Thèse de doctorat, Lund University.
- JANSSON, K., KALLIOKOSKI, P. et HEMILÄ, J. (2003). Extended products in one-of-a-kind product delivery and service networks. *In eBusiness and eWork*, Bologne.
- JARKE, A.-M., BUI, T. X. et CARROLL, J. M. (1998). Scenario management : An interdisciplinary approach. *Requirements Engineering*, 3(3):155–173.
- JUN, H.-B., SHIN, J.-H., KIRITSIS, D. et XIROUCHAKIS, P. (2007). System architecture for closed-loop plm. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20(7):684–698.
- KAHLE, L. R., BEATTY, S. E. et HOMER, P. (1986). Alternative measurement approaches to consumer values : The list of values (lov) and values and life style (vals). *Journal of Consumer Research*, 13(3):405.
- KOSSIAKOFF, A. et SWEET, W. N. (2002). *Systems engineering - Principles and practice*. Wiley - Interscience.
- LAGARONNE, C., RAMUS, V., GALLARDO, E. et ZAEH, F. (2003). Orientation service - entreprises : renforcez votre offre industrielle avec du service. Rapport technique, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.
- LEE, J. (1998). Teleservice engineering in manufacturing : challenges and opportunities. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(8):901–910.
- LOI, D. (2004). Designers or managers ? new emerging figures within organisations. *In International design conference*, Proceedings of the design 2004 - 8th International design conference, pages 1481–1486, Dubrovnik.
- LOPEZ-ONTIVEROS, M. A. (2004). *Intégration des contraintes de remanufacturabilité en conception de produits*. Thèse de doctorat, INP Grenoble, Laboratoire 3S.
- MANUFUTURE (2006). Strategic research agenda. Rapport technique, Manufuture High Level Group.
- MATZEN, D. et ANDREASEN, M. M. (2006). Opportunity parameters in the development product/service-systems. *In Proceedings of the 9th International Design Conference*.
- MAUSSANG, N., BRISSAUD, D. et ZWOLINSKI, P. (2007a). Which representation for sets of products and associated services during the design process ?

- In TICHKIEWITCH, S., TOLLENAERE, M. et RAY, P., éditeurs : *Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering II*, pages 309–323. Springer.
- MAUSSANG, N., SAKAO, T., ZWOLINSKI, P. et BRISSAUD, D. (2007b). A model for designing product-service systems using functional analysis and agent-based model. In *International Conference on Engineering Design, ICED'07*, Paris.
- MAXWELL, D. et van der VORST, R. (2003). Developing sustainable products and services. *Journal of Cleaner Production*, 11(8):883–895.
- MCALOONE, T. et ANDREASEN, M. (2002). Defining product service systems. In MEERKAMM, H., éditeur : *13th Symposium "Design for X"*, volume 1, pages 53–60.
- MEIER, H. et KRUG, C. M. (2008). System for planning of ressources in *ips*²-delivery. In *Manufacturing systems and technologies for the new frontier : Proceedings of the 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, pages 465–468.
- MILES, L. (1971). *Techniques of Value Analysis and Engineering*. McGraw-Hill.
- MILLET, D., BISTAGNINO, L., LANZAVECCHIA, C., CAMOUS, R. et POLDMA, T. (2007). Does the potential of the use of lca match the design team needs? *Journal of Cleaner Production*, 15(4):335–346.
- MONT, O. (2004). *Product-service systems : panacea or myth ?* Thèse de doctorat, IIIIEE - Lund University.
- MORELLI, N. (2003). Product-service systems, a perspective shift for designers : A case study : the design of a telecentre. *Design Studies*, 24(1):73–99.
- MORELLI, N. (2006). Developing new product service systems (pss) : methodologies and operational tools. *Journal of Cleaner Production*, 14(17):1495–1501.
- PAHL, G. et BEITZ, W. (1999). *Engineering Design : A Systematic Approach*. Springer, 2ème édition.
- PRUDHOMME, G., ZWOLINSKI, P. et BRISSAUD, D. (2003). Integrating into the design process the needs of those involved in the product life-cycle. *Journal of Engineering Design*, 14(3):333 – 353.

- SAJI, N., ASAKURA, H., YOSHINAGA, T., MIYAKE, A. et NAGAYA, S. (2002). Design of oil-free simple turbo type 65k/6kw helium and neon mixture gas refrigerator for high temperature superconducting power cable cooling. *In ADVANCES IN CRYOGENIC ENGINEERING : Proceedings of the Cryogenic Engineering Conference - CEC*, volume 47.
- SAKAO, T., MAUSSANG, N., ZWOLINSKI, P. et BRISSAUD, D. (2006a). Analysis of models for solutions in service/product engineering. *In Sustainable Consumption and Production : opportunities and threats*, pages 151–168, Wuppertal, Germany.
- SAKAO, T. et SHIMOMURA, Y. (2007). Service engineering : a novel engineering discipline for producers to increase value combining service and product. *Journal of Cleaner Production*, 15(6):590–604.
- SAKAO, T., SHIMOMURA, Y., LINDAHL, M. et SUNDIN, E. (2006b). Applications of service engineering methods and tool to industries. *In BRISSAUD, D., TICHKIEWITCH, S. et ZWOLINSKI, P., éditeurs : Innovation in life cycle engineering and sustainable development*, pages 65–83. Springer.
- SCHNEIDER, F., HINTERBERGER, F., MESICEK, R. et ROMAN, L. (2001). Eco-info-society : Strategies for an ecological information society. *In Sustainability and the information society : 15th international symposium informatics for environmental protection*, pages 831–838.
- SELIGER, G., GEGUSCH, R., MÜLLER, P. et BLESSING, L. (2008). Knowledge generation as a means to improve development of industrial product-service systems. *In Manufacturing systems and technologies for the new frontier : Proceedings of the 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, pages 519–524.
- SHOSTACK, G. L. (1982). How to design a service. *European Journal of Marketing*, 16(1):49–63.
- STAHEL, W. (2001). Sustainability and services. *In CHARTER, M. et TISCHNER, U., éditeurs : Sustainable solutions*, pages 151–164. Greenleaf Publishing, Sheffield.
- SUNDIN, E., BJÖRKMAN, M. et JACOBSSON, N. (2000). Analysis of service selling and design for remanufacturing. *In International Symposium on Electronics and the Environment*, pages 272–277, San Francisco. IEEE Computer Society.
- SUNDIN, E., LINDAHL, M., SAKAO, T., SHIMOMURA, Y. et BJÖRKMAN, M. (2005). New engineering design for functional sales business. *In International Conference on Engineering Design, ICED'05*, Melbourne.

- SUNDIN, E., ÖSTLIN, J., ÖHRWALL-RÖNNBÄCK, A., LINDHAL, M. et ÖLUNDH-SANDSTRÖM, G. (2008). Remanufacturing of products used in product service system offerings. *In Manufacturing systems and technologies for the new frontier : Proceedings of the 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, pages 537–542.
- TAKATA, S., KIRNURA, F., van HOUTEN, F., WESTKAMPER, E., SHPITALNI, M., CEGLAREK, D. et LEE, J. (2004). Maintenance : Changing role in life cycle management. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53(2):643–655.
- TAN, A., MCALOONE, T. et GALL, C. (2007). Product/service-system development - an explorative case study in a manufacturing company. *In International Conference on Engineering Design*, Paris.
- THOBEN, K.-D., ESCHENÄCHER, J. et JAGDEV, H. (2001). Extended products : Evolving traditional product concepts. *In 7th International Conference on Concurrent Enterprising*, pages 429–439, Bremen.
- TOMIYAMA, T. (2001). Service engineering to intensify service contents in product life cycles. *In Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, pages 613–618, Tokyo. IEEE Computer Society.
- TUKKER, A. (2005). The relevance of sustainable consumption policies for realising decoupling. *In European Roundtable of Sustainable Consumption and Production*, Antwerp.
- TUKKER, A. et TISCHNER, U. (2006). *New business for Old Europe : Product-Service development, competitiveness and sustainability*. Greenleaf publishing, Sheffield.
- TUKKER, A., TISCHNER, U. et VERKUIJL, M. (2006a). Product-services and sustainability. *In TUKKER, A. et TISCHNER, U., éditeurs : New Business for Old Europe*, pages 72–98. Greenleaf Publishing, Sheffield.
- TUKKER, A., van den BERG, C. et TISCHNER, U. (2006b). Product-services : a specific value proposition. *In TUKKER, A. et TISCHNER, U., éditeurs : New Business for Old Europe*, pages 22–34. Greenleaf Publishing, Sheffield.
- ULRICH, K. T. et EPPINGER, S. D. (1999). *Product Design and Development*. McGraw-Hill Education, 2ème édition.
- UMEDA, Y., NONOMURA, A. et TOMIYAMA, T. (2000). Study on life-cycle design for the post mass production paradigm. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 14(2):149–161.

- UMEDA, Y., TOMIYAMA, T., YOSHIKAWA, H. et SHIMOMURA, Y. (1994). Using functional maintenance to improve fault tolerance. *Expert, IEEE [see also IEEE Intelligent Systems and Their Applications]*, 9(3):25–31.
- van HALEN, C., VEZZOLI, C. et WIMMER, R. (2005). *Methodology for Product Service System innovation : How to develop clean, clever and competitive strategies in companies*. Koninklijke Van Gorcum.
- VDI (1987). Vdi 2221 : Systematic approach to the design of technical systems and products. Rapport technique, Verein Deutscher Ingenieure.
- WESTKAMPER, E., ALTING, L. et ARNDT, G. (2000). Life cycle management and assessment : Approaches and visions towards sustainable manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 49(2):501–526.
- WILLIAMS, A. (2006). Product-service systems in the automotive industry : the case of micro-factory retailing. *Journal of Cleaner Production*, 14(2): 172–184.
- ZEITHAML, V. et BITNER, M. (1986). *Service marketing*. McGraw-Hill, New York.

Transparents de la présentation de thèse

Méthodologie de conception pour les systèmes produits-services

Nicolas MAUSSANG-DETAILLE

Soutenance de thèse de doctorat - Grenoble INP

Génie industriel - Conception et Production

Mercredi 5 novembre 2008

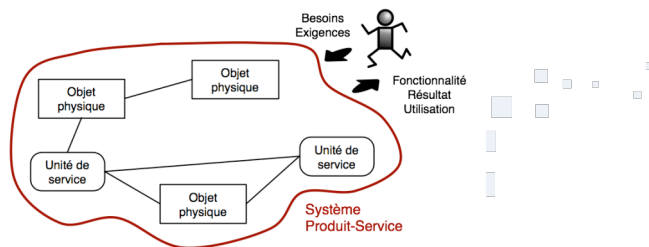
Laboratoire G-SCOP
46, av Félix Viallet
38031 Grenoble Cedex
www.g-scop.inpg.fr

Centre National de la Recherche Scientifique Institut National Polytechnique de Grenoble Université Joseph Fourier

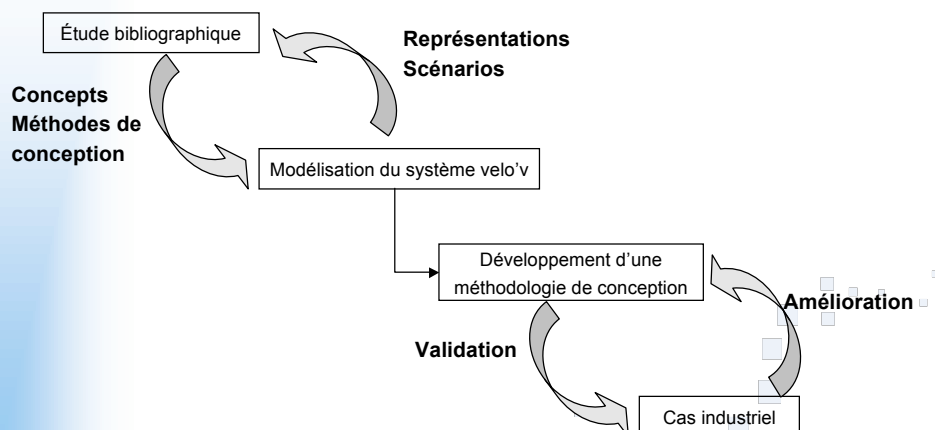
- Tarification / Utilisation
 - Système de location de vélos
 - Facturation selon temps de déplacement/temps d'utilisation « **pay-per-use** »
- Front office / Back office
 - **Interactions** clients/système
 - Vélo, terminal, borne
 - Centre d'appels
 - Fonctions en **arrière plan** assurant la disponibilité du service
 - Unité de maintenance, unité de régulation
- Implantation sur la ville
- Les **vélos** du système sont **différents** de vélos classiques
 - Solutions techniques particulières pour le vélo
 - Frein, changement de vitesses, etc.



- Autres exemples
 - Xerox, Electrolux, Rolls Royce, etc.
- Définition
 - Système composé d'**objets physiques** et d'**unités de service** ayant des relations dues à l'**organisation** du système
- Passage vers une économie de fonctionnalité [Giarini et al., 90]
- Postulat de base
 - Les **objets physiques** sont **différents** de produits « classiques »
 - **Organisation particulière** pour ces systèmes



- Les question de recherche
 - Quels sont les **concepts** traitant des produits/services ?
 - Quelle(s) **méthodologie(s)** pour concevoir les systèmes PSS ?



1. Introduction générale
2. Concepts et méthodes : des produits aux systèmes produits-services
3. Méthodologie de conception pour les systèmes produits-services
4. Application sur un cas industriel
5. Conclusions et perspectives



Produits
étendus

Scénarios

AF

MEPSS

Téléservice

II. Concepts et méthodes Des produits aux SPS...

Ingénierie
Des services

Maintenance

Conception systématique

Concepts et méthodes

Produits

Services

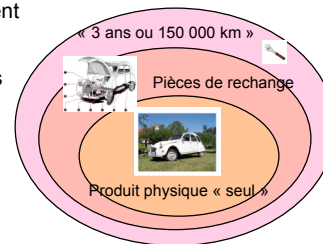
Systèmes produits-services

Méthodologie de conception

Cas industriel

- Concept : Les produits étendus [Hirschl et al., 00]

- Se détacher de la concurrence
- **Elargissement** de l'offre faite au client
- Les services augmentent la valeur
- Développement du **produit puis** des **services**



- Méthode : Design for Maintenance
 - Optimisation du produit **a posteriori** [Takata et al., 04]
 - Télé-service [Lee, 98]
 - Systèmes intelligents, capitalisation information
 - Optimisation du produit selon les infos de pannes, type d'utilisation, etc.

Concepts et méthodes

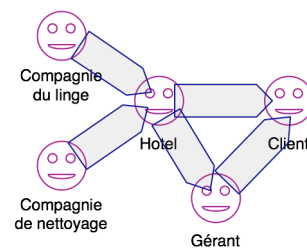
Services

Systèmes produits-services

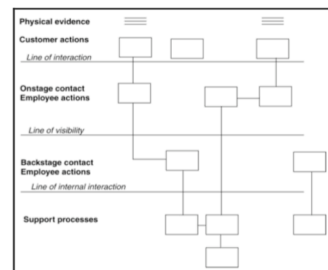
Méthodologie de conception

Cas industriel

- Concept : L'ingénierie des services
 - Service = activité, changer l'état d'un receveur [Sakao, 06]
 - Apporter plus de **valeur**
 - Amélioration du **service**, diminution des charges sur l'**environnement** [Tomiya, 01]



- Méthode : L'ingénierie des services
 - Déterminer l'**organisation** entre les acteurs
 - Représentation de l'ensemble des **agents** impliqués
 - Flux entre acteurs
- Méthode : Blueprint [Shostack, 82]
 - Lignes d'**interaction** (front office, back office)
 - Le produit n'est pas représenté

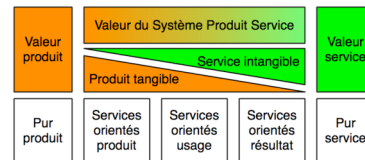


Concepts et méthodes

Produits
Services
Systèmes produits-services
Méthodologie de conception
Cas industriel

• Typologie des SPS (valeur P. vs S.)

- Services orientés produit
 - Garantie sur photocopieur
- Services orientés usage
 - Location des équipements
- Services orientés résultat
 - Centre de photocopiage



• Méthode : Conception modulaire [Aurich et al., 07]

- **Description** des différentes activités produits et services
- **Configuration** du système avec les entrées/sorties des activités P/S

• Méthode : « Methodology for developing Product-Service Systems » [vanHalen et al., 05]

- **Stratégies d'innovation**: Analyse stratégique, exploration de nouvelles pistes, développement d'idées et SPS
- **Scénarios** pour décrire les **utilisations** du client [Moreli, 04]

	Produits	Services	Systèmes produits-services
Bilan	+ Conception systématique - Services peu considérés	+ Représentation des acteurs, de l'organisation - Pas/peu de détails de paramètres produit	+ Description de cas d'utilisation - Analyse niveau système, pas niveau produit
Conclusion	Intégration du service durant processus de conception	Lier les paramètres produits à l'organisation	Considérer les 2 niveaux: système et produits

• Problématique

- Quelle **méthodologie** spécifique aux SPS ?
- Quels outils de **représentation** des SPS ? [Maussang et al., 2006]
- Et en particulier, comment représenter les **organisations** au sein d'un PSS ?

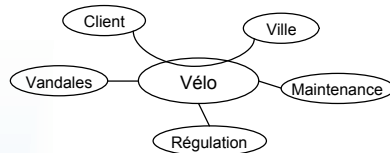
Fonctions

III. Méthodologie de conception pour les Systèmes Produits-Services

Evaluation

Scénario de fonctionnement

FAST SPS



- Eléments extérieurs figés
- Proposition
 - Structurer en 2 niveaux
 - Développement parallèle des objets physiques et unités de service

Concepts et méthodes

Méthodologie de conception

Méthodologie

Représentation

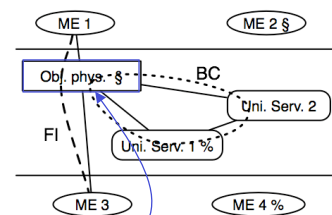
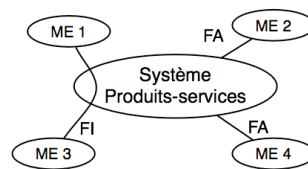
Organisation

Evaluation

Cas industriel

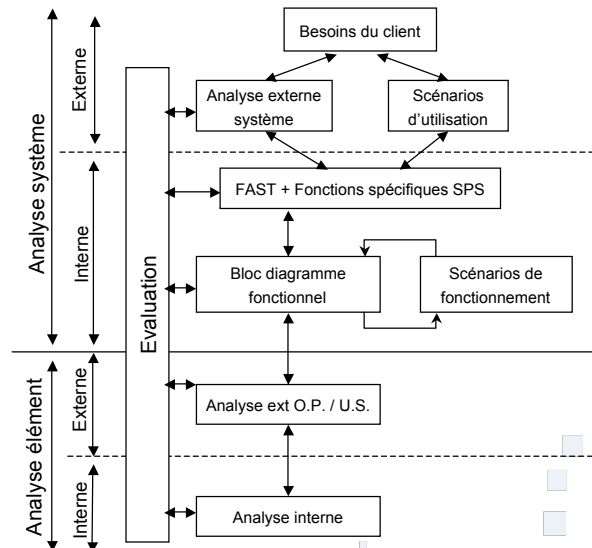
Analyse externe

Analyse interne

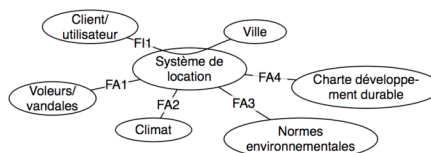


Système

Elément



• Analyse externe du système

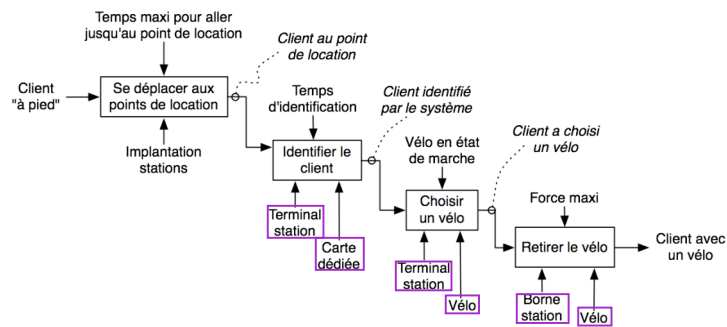


- F11 : Permettre au client de se déplacer en ville
- FA1 : résister aux voleurs/vandales
- FA2 : résister au climat
- FA3 : Respecter les normes environnementales
- FA4 : respecter la charte développement durable de l'entreprise

Caractérisation des fonctions

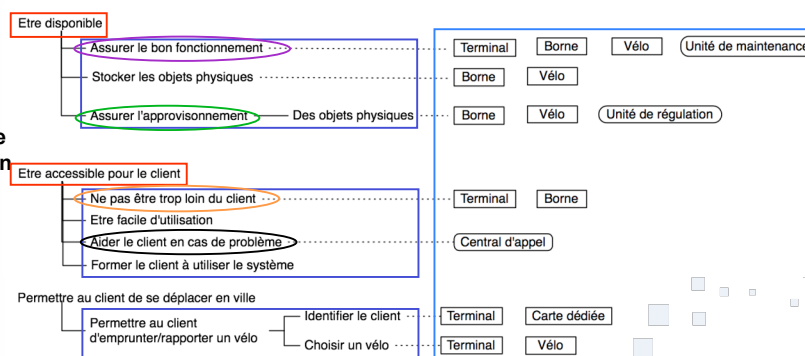
Fonction	Critère	Niveau	Flex.
F11	Temps d'utili. Nb km		
FA1	...		
FA2	T° moy. Nb jours pluie		
FA3	Recyclabilité ...		
FA4	Conso NRJ ...		

- Description des interactions client/système
 - Basé sur le modèle SADT



- Apparition des premiers éléments de solutions
 - Objets physiques / Unités de service

- Diagramme **FAST** : regroupement des **fonctions** issues de la représentation externe et des **solutions** du scénario d'utilisation
- **Fonctions spécifiques SPS** : disponibilité, accessibilité

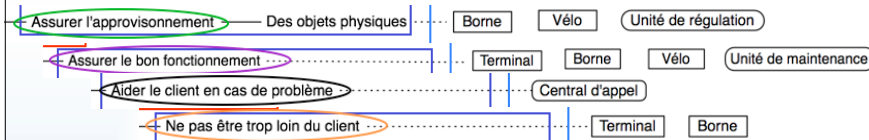


Fonctions techniques

Solutions : Obj. Phy / Unit. Serv.

=> Boucles de conception

- Les boucles de conception représentent l'organisation du système



Concepts et méthodes

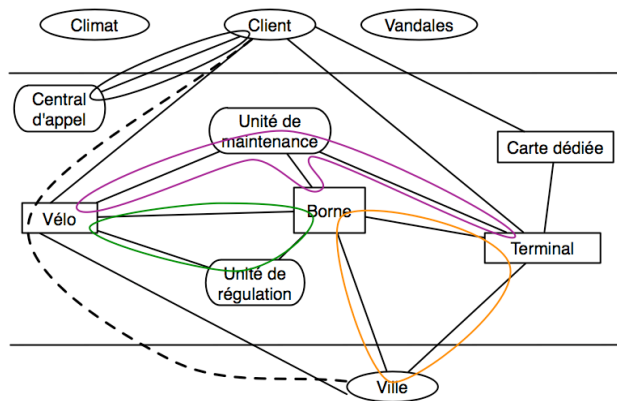
Méthodologie de conception

Méthodologie
Représentation

Organisation

Evaluation

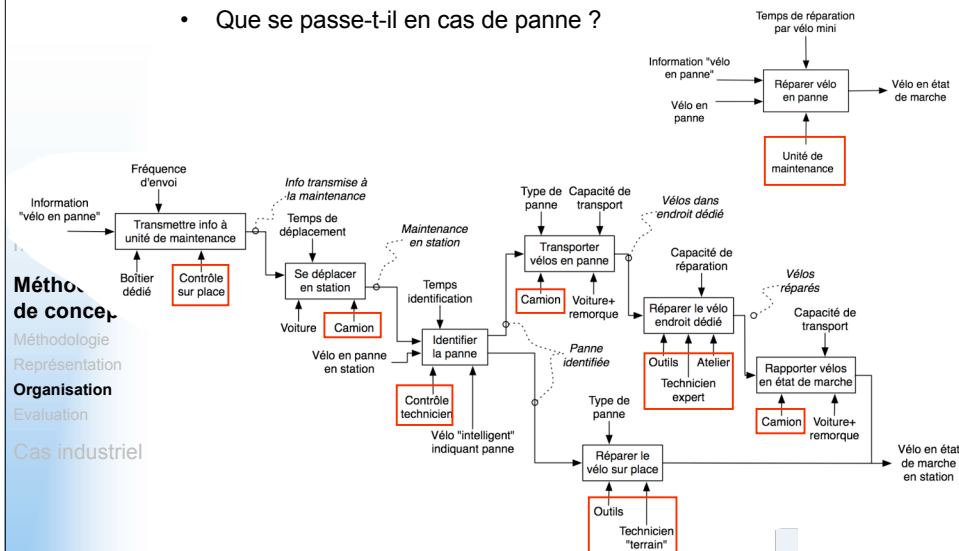
Cas industriel



11/12/08

17/34

- Que se passe-t-il en cas de panne ?



Méthodologie de conception

Méthodologie
Représentation

Organisation

Evaluation

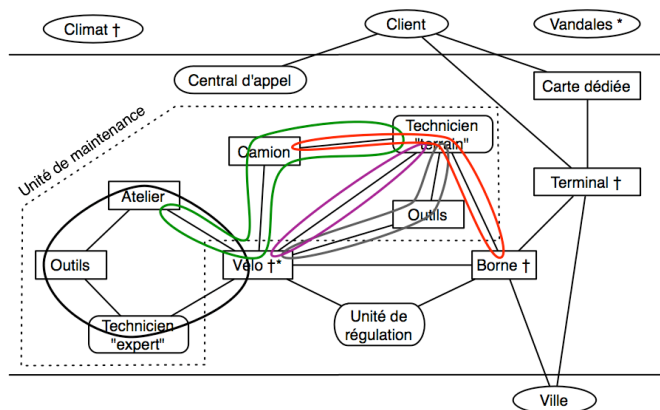
Cas industriel

11/12/08

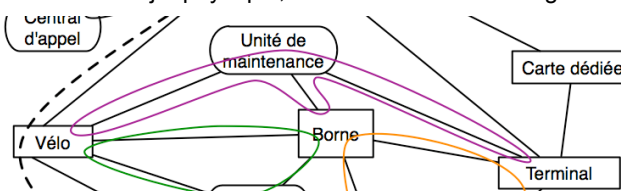
Soutenance de thèse - Nicolas Maussang-Detaille

18/34

- Modification du BDF
 - Détail de la boucle de conception « assurer le bon fonctionnement »



- Objectif : évaluer les organisations
 - A partir des éléments retenus, quelle est la meilleure organisation ?
- Evaluation sur les boucles de conception
 - Exemple « Réparer les vélos »
- Expl : si on ne satisfait pas le critère disponibilité, alors nécessité d'innover sur l'objet physique, l'unité de service ou l'organisation

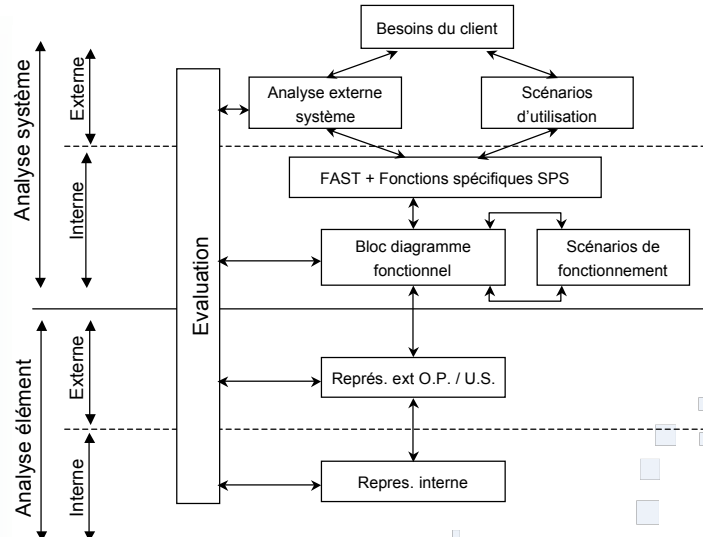


Innovation unité de service



Innovation objet physique

Innovation organisation :
fréquence de passage



Réfrigérateur

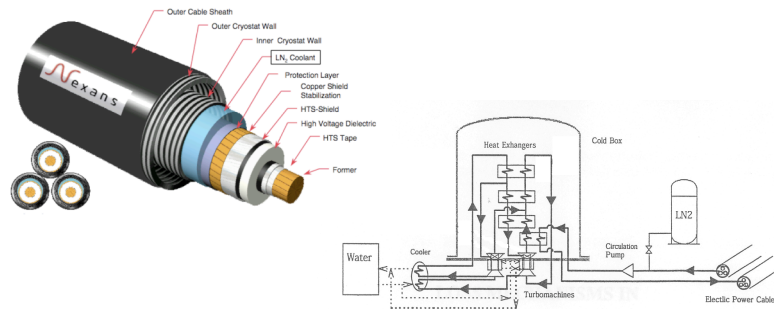
IV. Application sur un cas industriel

Electricité

Câbles supra-conducteurs
Systèmes produits-services

Cryogénie

- Assurer la réfrigération de câbles supraconducteurs
 - Achat de watt de réfrigération
 - Critères client : efficacité, faible coût, disponibilité



Concepts et méthodes

Méthodologie de conception

Cas industriel

Contexte

Analyse externe

Analyse interne

Analyse d'un élément du système

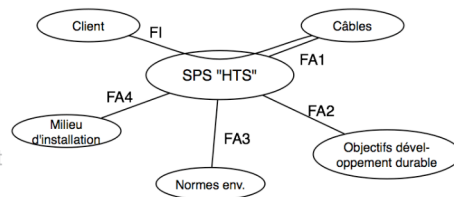
- Problématique
 - Ingénieurs **experts en développement technologique** mais comment développer une nouvelle **organisation** permettant de satisfaire les besoins du client ?

11/12/08

Soutenance de thèse - Nicolas Maussang-Detaille

23/34

Analyse externe du système



- FI1 : assurer la réfrigération des câbles au client
 FA1 : système adapté aux câbles
 FA2 : respecter les objectifs DD
 FA3 : prendre en compte les normes environnementales
 FA4 : résister aux conditions du milieu d'installation

Fonctions	Critères	Niveau
FI	Température de fonctionnement	65-70°K
	Disponibilité	>99,8%
	Efficacité du cycle de Carnot	>30%
	Coût /W de réfrigération	<25\$
	Etc.	...

Définition d'un cahier des charges « système »

Concepts et méthodes

Méthodologie de conception

Cas industriel

Contexte

Analyse externe

Analyse interne

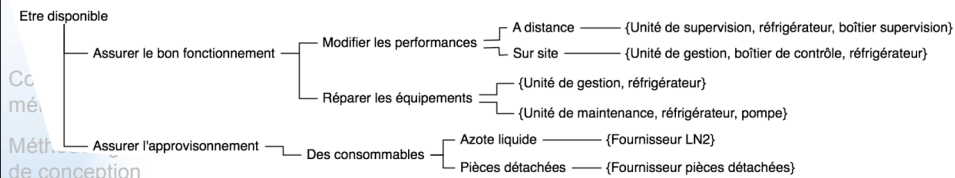
Analyse d'un élément du système

11/12/08

Soutenance de thèse - Nicolas Maussang-Detaille

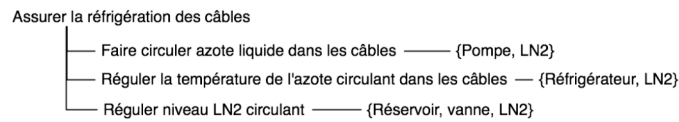
24/34

- Disponibilité, accessibilité
- 2 cas d'utilisation envisagés
 - Gestion sur place, gestion à distance

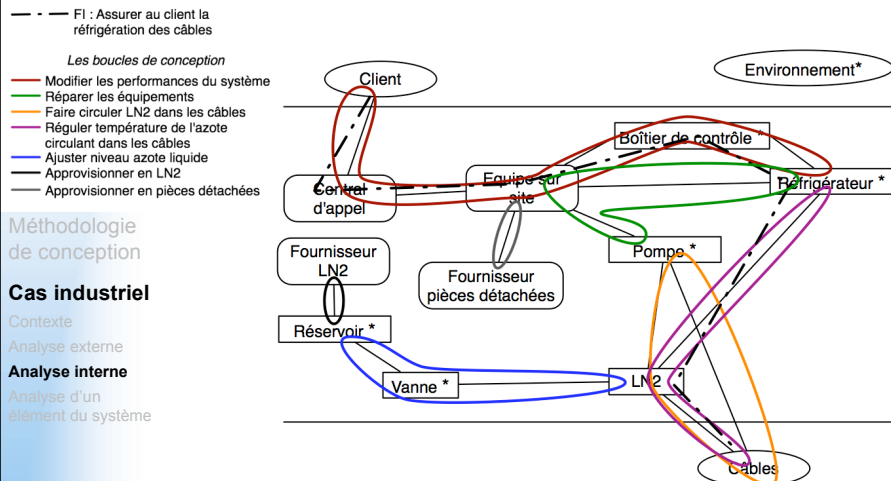


Cas industriel

Contexte
Analyse externe
Analyse interne
Analyse d'un élément du système

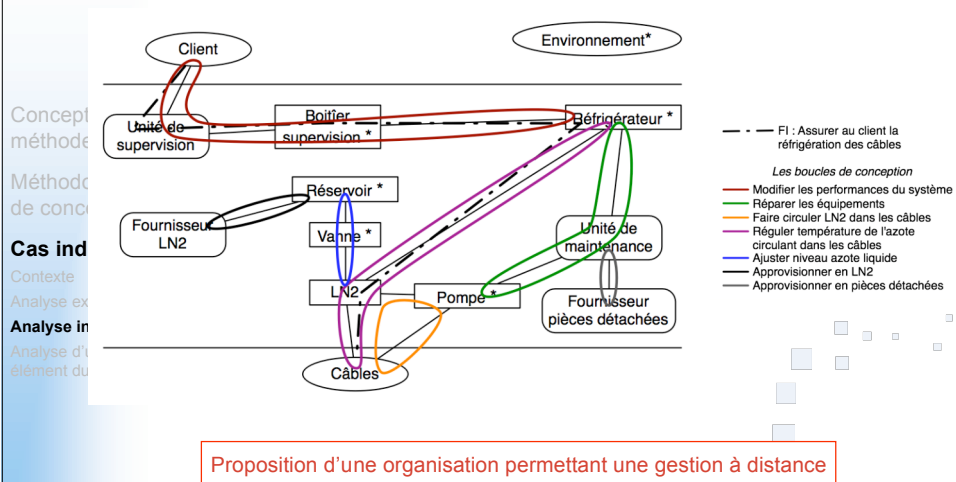


- Organisation du système pour une gestion sur site

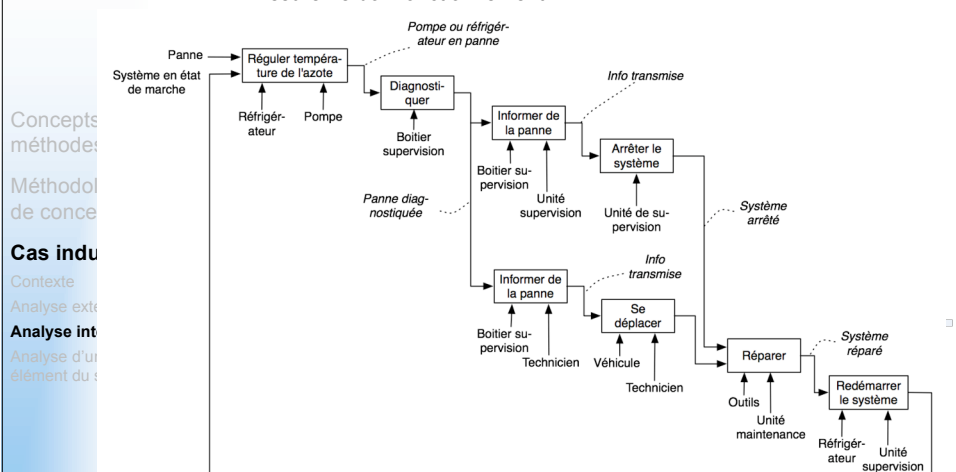


Proposition d'une organisation relative à une gestion sur site

- Organisation du système pour une gestion à distance



- Les scénarios de fonctionnement permettent de préciser l'organisation interne du système (étude sur le scénario A - équipe à distance)
 - Assurer le bon fonctionnement



- Incidence de la part du scénario de fonctionnement précédent

Concepts et méthodes

Méthodologie de conception

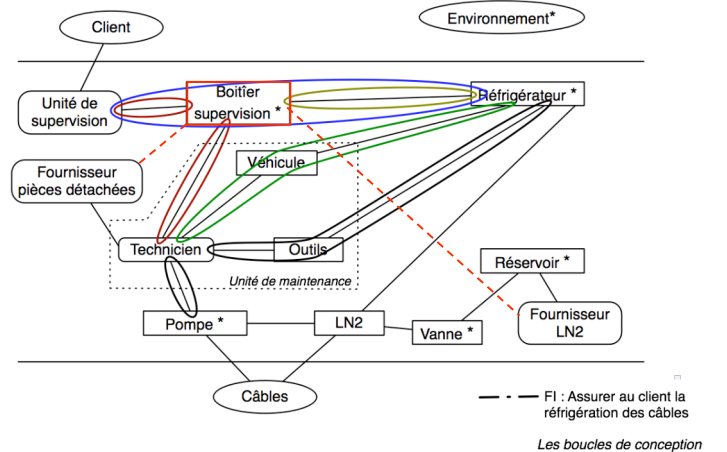
Cas industriel

Contexte

Analyse externe

Analyse interne

Analyse d'un élément du système



Mise en place d'une organisation assurant la réparation du système
Importance du boîtier de supervision dans cette organisation

11/12/08

Soutenance de thèse - Nicolas Maussang-Detaille

30/34

- L'évaluation a mis en évidence la place centrale du boîtier de supervision

Concepts et méthodes

Méthodologie de conception

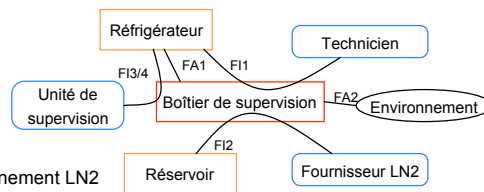
Cas industriel

Contexte

Analyse externe

Analyse interne

Analyse d'un élément du système



- FI1 : Envoyer info de panne
- FI2 : Envoyer info réapprovisionnement LN2
- FI3 : Arrêter/redémarrer le réfrigérateur
- FI4 : Informer d'une panne
- FA1 : Diagnostiquer le réfrigérateur
- FA2 : Résister à l'environnement extérieur

Développement en parallèle avec l'unité de supervision, le fournisseur LN2, les techniciens de l'unité de maintenance, etc.

Si on ne peut pas atteindre les performances attendues sur le boîtier, alors négociation avec les autres éléments en cours de développement.

11/12/08

Soutenance de thèse - Nicolas Maussang-Detaille

30/34

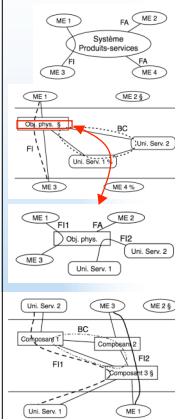
Scénarios

IV. Conclusion et perspectives

Développement durable

Démarche structurée

- Systèmes produits-services
 - Système complexe composé d'objets physiques et d'unités de service
 - Importance de développer de manière intégrée les objets physiques, les unités de service et l'organisation



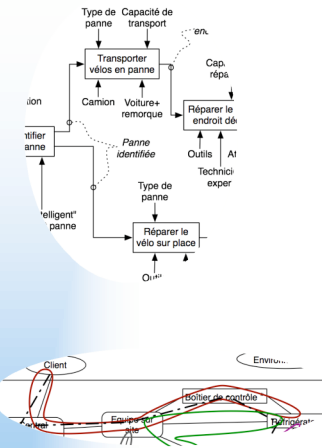
- Q1 : Une méthodologie spécifique est-elle nécessaire ?
- R1 : Démarche structurée : des besoins au client à l'étude des éléments

- Q2 : Quels outils de représentations utiliser ?



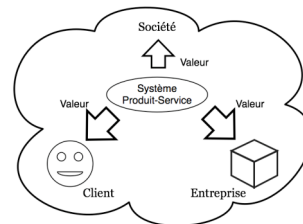
- R2 : Représentation du système en externe/interne et représentation des scénarios
 - Représentation basée sur l'analyse fonctionnelle, adaptée pour la conception des SPS
 - Scénarios basés sur le modèle SADT
 - Représentation FAST pour coupler les solutions aux fonctions techniques





- Q3 : Comment représenter les organisations au sein des SPS ?
- R3 : Scénarios de fonctionnement et BDF
 - Bloc Diagramme Fonctionnel
 - Boucles de conception
 - Scénarios de fonctionnement
 - Description de l'organisation interne du système
- Evaluation des systèmes dans le processus de conception ?
 - Evaluation de l'organisation par les boucles de conception
 - Doit conduire à innover sur les objets physiques, les unités de service et l'organisation pour répondre aux besoins du client

- La valeur
 - Augmenter la **valeur** pour le client, les entreprises et la société
 - Evaluation par rapport au **développement durable**
- **Optimisation** des organisations
 - Optimisation des déplacements --> réduction conso NRJ et émissions
- Flux d'**informations** et capitalisation
 - Promise
- Gestion des **exigences**
 - Ingénierie des exigences [Claros, 08]
- **Comportement** des utilisateurs
 - Sommes nous prêts à acheter du service et changer nos comportements...



Méthodologie de conception pour les systèmes produits-services

Merci pour votre attention.

Nicolas Maussang-Detaille

Laboratoire G-SCOP
46, av Félix Viallet
38031 Grenoble Cedex
www.g-scop.inpg.fr

■ Centre National de la Recherche Scientifique ■ Institut National Polytechnique de Grenoble ■ Université Joseph Fourier ■

Méthodologie de conception pour les systèmes produits-services

Merci pour votre attention.

Nicolas Maussang-Detaille

Laboratoire G-SCOP
46, av Félix Viallet
38031 Grenoble Cedex
www.g-scop.inpg.fr

■ Centre National de la Recherche Scientifique ■ Institut National Polytechnique de Grenoble ■ Université Joseph Fourier ■

Méthodologie de conception pour les systèmes produits-services (SPS)

Résumé : Le paradigme de production et consommation de masse basé sur la vente de produits physiques est actuellement remis en cause du fait de la forte concurrence et des impacts environnementaux engendrés. En ce sens, une économie basée sur les services émerge. Le client n'achète plus un produit physique, mais va payer pour une utilisation ou un résultat fourni par un système global composé de produits et de services. Par conséquent, les concepteurs de produits physiques doivent aujourd'hui revoir la manière dont ils conçoivent ces nouveaux systèmes et en particulier les objets physiques impliqués dans ces systèmes.

Ce travail de thèse a conduit à la proposition d'une méthodologie de conception permettant de structurer le développement du système produit-service global vers la conception détaillée des objets physiques impliqués dans ces solutions. Des représentations dérivées de l'analyse fonctionnelle ainsi que la mise en place de scénarios de fonctionnement permettent de décrire l'organisation globale des éléments du système. Cette organisation est modélisée par l'intermédiaire des boucles de conception au sein du bloc diagramme fonctionnel du système. Enfin, la mise en place d'une évaluation basée sur les boucles de conception permet aux concepteurs de s'assurer qu'ils répondent aux performances attendues par le client en faisant le lien entre les paramètres des objets physiques et les unités de service du système.

Mots-clés : système produits-services, méthodologie de conception, modèles de représentation, scénarios de fonctionnement, boucles de conception, évaluation.

Design methodology for Product-Service Systems (PSS)

Abstract: The paradigm of mass production and consumption based on the sale of physical products is considered because of strong competition and environmental impacts caused by this paradigm. To tackle these considerations, a service-based economy has emerged. The customer does not buy anymore a physical product, but pays for the use or for results provided by a system composed of products and services. Therefore, engineering designers must now reconsider the way they design these new systems and in particular physical objects involved in these systems. This doctoral thesis proposes a design methodology for structuring the development of these PSS from the design of the system to the detailed design of physical objects involved in the final solutions. Representations derived from the functional analysis and the establishment of operational scenarios enable the designers to describe the overall organization of the elements included into the system. This organisation is represented through the design buckles of the functional bloc diagram. Finally, the evaluation of the system from the design buckles enables engineering designers to link the parameters of physical objects and service units in order to assess that the whole system fulfil the performance expected by the customer.

Keywords: Product-Service System, design methodology, representations, operational scenarios, design buckles, evaluation.